






The New York
Public Library

Verlag von VEIT & COMP. in LEIPZIG.

GEISTIGE STRÖMUNGEN DER GEGENWART

von **Rudolf Eucken.**

Der Grundbegriffe der Gegenwart dritte, umgearbeitete Auflage.

gr. 8. 1904. geh. 8 M., geb. in Ganzleinen 9 M.

ELEMENTE UND VERBINDUNGEN.

FARADAY-VORLESUNG,

GEHALTEN IM HÖRSAALE DER ROYAL INSTITUTION ZU LONDON
AM 19. APRIL 1904

von **W. Ostwald.**

Mit Figuren im Text.
8. 1904. geh. 1 M. 20 Pf.

DIE MUTATIONSTHEORIE.

VERSUCHE UND BEOBACHTUNGEN
ÜBER DIE
ENTSTEHUNG VON ARTEN IM PFLANZENREICH.

Von **Hugo de Vries,**
Professor der Botanik in Amsterdam.

Zwei Bände.

Roy. 8. geh. 43 M., geb. in Halbfranz 49 M.

Erster Band. Die Entstehung der Arten durch Mutation. Mit zahlreichen Abbildungen im Text und acht farbigen Tafeln. 1901. geh. 20 M., geb. in Halbfranz 23 M.

Zweiter Band. Elementare Bastardlehre. Mit zahlreichen Abbildungen im Text und vier farbigen Tafeln. 1903. geh. 23 M., geb. in Halbfranz 26 M.

Gestützt auf eine lange Reihe ausgezeichneter Untersuchungen und auf ausgedehnte Literaturstudien liefert der Verfasser in diesem epochemachenden Werke ein ungemein reiches Material zur Entscheidung der Frage, wie neue Arten entstehen. Der Darwinismus beantwortet diese Frage bekanntlich dahin, daß Arten ganz allmählich aus anderen hervorgehen, de Vries weist dagegen nach, daß die „fluktuierende Variation“, auf welche sich der Darwinismus fast ausschließlich stützt, zur Bildung neuer Arten nicht führen kann. Neue Arten entstehen stoßweise. Diese Stöße nennt de Vries „Mutationen“. Er zeigt, daß diese Entstehung sich ebensogut beobachten läßt wie jeder andere physiologische Vorgang.

ABHANDLUNGEN UND VORTRÄGE

ALLGEMEINEN INHALTES

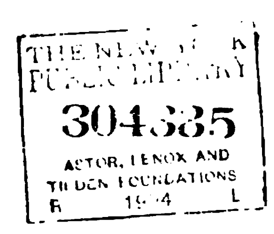
(1887—1903)

VON

WILHELM OSTWALD



VERLAG VON VEIT & COMP. IN LEIPZIG
1904



Druck von Fr. Richter in Leipzig

William Ramsay

in herzlicher Freundschaft gewidmet

Vorwort

Zunächst muß ich bekennen, daß die vorliegende Sammlung meiner Aufsätze und Reden, die sich an einen weiteren Leser- und Hörerkreis wenden, ihre Entstehung nicht wie üblich dem Andringen der Freunde des Verfassers verdankt. Ich habe vielmehr gerade jetzt als zu einer Zeit, wo sich in der Weise meiner Beteiligung an der Entwicklung der Wissenschaft innerlich und vielleicht auch äußerlich eine starke Wendung vollzieht, das Bedürfnis gefühlt, meinen Arbeitsgenossen und mir selbst durch diese Übersicht eine Art Rechenschaft zu geben, und ich will auch nicht verhehlen, daß dies mit einigem Behagen geschehen ist. Darf ich doch die Hauptaufgabe meines Lebens, der allgemeinen oder physikalischen Chemie einen gesicherten Boden innerhalb des regelmäßigen Wissenschaftsbetriebes bereiten zu helfen, als im wesentlichen gelöst ansehen. Natürlich soll damit nicht gesagt sein, daß bereits alle Ansprüche befriedigt und alle Wünsche erfüllt sind; es bleibt vielmehr noch genug im deutschen Vaterlande wie auswärts zu tun übrig. Wohl aber glaube ich die Stellung der neuen Wissenschaft im Kreise der Schwesterwissenschaften bereits als soweit gesichert ansehen zu dürfen, daß eine stetige Weiterentwicklung leicht und eine Unterdrückung unmöglich geworden ist; was nunmehr aus ihr wird, hängt nur noch von dem Werte ihrer Leistungen ab, und nicht mehr von den Zufälligkeiten des persönlichen Wohl- oder Übelwollens.

Gleichzeitig soll diese Sammlung eine Erklärung und damit, wie ich hoffe, auch eine Rechtfertigung der eben erwähnten Wendung geben. Durch die eifrige Mitarbeit an der Erweiterung und Klärung einer speziellen Fachwissenschaft, verbunden mit dem unschätzbaren Gewinn, eine große Zahl hochbegabter und begeisterter jüngerer Fachgenossen bei ihren ersten Schritten in die Arbeit an der Wissenschaft begleiten zu können, habe ich mir eine ziemlich ausgedehnte praktische Erfahrung über die Frage erworben, wovon die Entwicklung einer Wissenschaft abhängt und welches die zweckmäßigen Methoden hierfür sind. Es liegt nahe, die hier erlangten Kenntnisse auf andere Gebiete anzuwenden, und Versuche in dieser Richtung sind es, denen ich die mir gebliebenen Beträge an Arbeitsfähigkeit und Arbeitslust zuwenden möchte. Die Freunde, welche mit Besorgnis mich die Bahnen gewohnter ergiebiger Arbeit verlassen sehen, werden aus der vorliegenden Sammlung erkennen, daß es sich um die Ausführung lange gehegter Gedanken handelt, die nur im Drange der Tagesarbeit bisher haben zurückgestellt werden müssen.

In den abgedruckten Aufsätzen wird man nahezu oder völlig unbekannt gebliebene neben anderen finden, welche, wie die Vorträge über die Überwindung des wissenschaftlichen Materialismus und über Katalyse, eine weite Verbreitung gefunden haben. Eine Vollständigkeit in der Zusammenstellung habe ich nicht angestrebt; insbesondere habe ich viele allgemeine Betrachtungen, die sich mir im Anschlusse an Berichte über Bücher und Abhandlungen anderer Autoren dargeboten hatten, nicht aufgenommen, sondern mich auf solche Darstellungen beschränkt, die ein abgerundetes Stück Wissenschaft oder Leben behandeln. Der Abdruck ist wortgetreu. In betreff der Anordnung habe ich von einer rein chronologischen

Reihenfolge abgesehen, um einen störenden Eindruck auf den Leser infolge des allzu häufigen Wechsels im Thema zu vermeiden. Abgesehen davon, daß die Notwendigkeit einer beständigen Änderung in der Einstellung des geistigen Auges auf scheinbar zusammenhanglose Gegenstände ästhetisch eine unerfreuliche Wirkung hervorruft, scheute ich den Anschein eines eitlen Prahlens mit dieser Mannigfaltigkeit. Ich habe deshalb den Stoff in fünf Hauptabteilungen untergebracht, in welchen jedesmal die fortlaufende Entwicklung meiner Anschauungen deutlicher und bequemer zur Darstellung kommt, während dabei das Gemeinsame, das sich in den verschiedenen Abteilungen vorfindet, nicht mehr die Rolle einer lästigen Wiederholung zu spielen braucht, sondern als willkommenes Zeichen des Zusammenhanges zwischen ihnen empfunden werden mag.

Die beigefügten Anmerkungen sollen einerseits das Verständnis erleichtern, andererseits notwendig gewordene Verbesserungen, Einschränkungen u. dergl. bringen. Auf polemische Auseinandersetzungen mit Gegnern, an denen es bezüglich einzelner Fragen, insbesondere im Anschluß an die Rede über den wissenschaftlichen Materialismus, nicht gefehlt hat, habe ich mich in diesen Anmerkungen nirgend eingelassen. Wenn man wie ich während einer bewegten Zeit wissenschaftlicher Entwicklung sich vielfach davon hat überzeugen können, daß die Gewinnung von Freunden und Anhängern aus indifferenten Zuschauern, namentlich aber aus den Kreisen der jugendlicheren Fachgenossen, eine unverhältnismäßig viel dankbarere und wohl auch fruchtbarere Arbeit ist, als alle Bemühungen, ausgesprochene Gegner zu überzeugen, so wird man einem Vertreter der Energetik es nicht verübeln, wenn er die ihm zur Verfügung stehende Energie, über deren Begrenztheit er sich nicht die geringsten Illusionen macht, dort zu verwenden sich bemüht, wo

er von ihrer Anwendung den größten Nutzeffekt zu erzielen hofft. In solchem Sinne bitte ich schließlich auch den Wiederabdruck dieser Aufsätze aufzufassen. Vergeudung von Energie, sei es aus Unkenntnis, sei es aus Bosheit, ist die schlimmste Sünde, die ein Mensch begehen kann, denn sie kann auf keine Weise wieder gut gemacht werden. Wenn durch dies Buch hie und da eine solche Vergeudung eingeschränkt, oder gar noch ungerichtete Energie in eine ersprießliche Richtung gelenkt werden könnte, so würde der von mir angestrebte Zweck erreicht sein.

Leipzig, Mai 1904.

W. Ostwald

Inhalt

Seite

Allgemeine und physikalische Chemie

Elektrochemie

Energetik und Philosophie

Technik und Volkswirtschaft

Seite

Biographie

I

ALLGEMEINE UND PHYSIKALISCHE CHEMIE



1

DIE AUFGABEN DER PHYSIKALISCHEN CHEMIE

(Veröffentlicht in der Zeitschrift „Humboldt“, Juli 1887.)

In der Entwicklung jeder Wissenschaft lassen sich drei Stufen unterscheiden. Die erste besteht in dem Kennenlernen der Objekte, die zweite in der systematischen Ordnung derselben, und die dritte in der Ermittlung der allgemeinen Gesetze, denen sie unterworfen sind. Diese Stufen werden nicht in der Weise erreicht, daß nach völliger Erledigung der ersten die zweite in Angriff genommen wird, und so fort. Die Wissenschaft schreitet nicht in geschlossener Front vor; stets sind, während die Hauptarmee eine bestimmte Stellung innehat, einzelne Plänkler in die noch uneroberten Gebiete einzudringen bemüht, welche die Wege suchen und die Hauptpunkte feststellen, die dann nach kürzerer oder längerer Zeit von dem nachrückenden Heer benutzt und besetzt werden, wobei es denn freilich nicht fehlen kann, daß bequemere Wege und auch wichtigere Punkte aufgefunden werden.

In den exakten Naturwissenschaften wird die letzte Stufe, von deren Erreichung Kant die Bezeichnung eines Wissensgebietes als Wissenschaft abhängig machte, durch das Auftreten mathematisch formulierbarer Gesetze gekennzeichnet, und in diesem Sinne sprach Kant der Chemie seinerzeit den Rang einer Wissenschaft ab. In der Tat befand sich die Chemie zur-

zeit jenes Ausspruches (1786) noch fast völlig auf der ersten Stufe des bloßen Kennenlernens und Beschreibens der Erscheinungen, und der Schwerpunkt ihrer Entwicklung lag zu jener Zeit in dem Bestreben, durch eine Zusammenfassung derselben, wie sie in der Phlogistontheorie versucht wurde, eine Systematik der chemischen Verbindungen zu erlangen.

Gleichsam als wollte die Chemie dem berechtigten Vorwurf des Philosophen die Spitze abbrechen, begann wenige Jahre später Jeremias Benjamin Richter, der sich die Anwendung mathematischer Hilfsmittel auf chemische Erscheinungen zur eigentlichen Lebensaufgabe gemacht hatte, die Veröffentlichung seiner grundlegenden Untersuchungen über die Gewichtsverhältnisse chemischer Verbindungen, welche, durch Dalton und Berzelius um 1805 fortgesetzt, zu dem ersten zahlenmäßigen Gesetz in der Chemie führten. Mit dem Gesetz, daß alle Stoffe nur im Verhältnis bestimmter, individueller Gewichtsmengen oder ihrer Vielfachen sich chemisch zu verbinden vermögen, hat die Chemie endlich einen Anspruch auf den Rang einer Wissenschaft im Sinne Kants erlangt. An dieses Gesetz schloß sich alsbald (1808) ein zweites, daß Gase nur in einfachen rationalen Volumverhältnissen zu chemischen Verbindungen zusammentreten, welches von Gay-Lussac gefunden wurde. Wieder zehn Jahre später stellten Dulong und Petit das Gesetz auf, daß die Atomwärmen der chemischen Elemente (die Produkte aus der spezifischen Wärme und dem Atomgewicht) alle gleich groß sind. Und nach weiteren fünfzehn Jahren entdeckte Faraday sein Gesetz, daß derselbe elektrische Strom aus verschiedenen Elektrolyten solche Mengen der Ionen abscheidet, welche im Verhältnis der chemischen Verbindungs- oder Äquivalentgewichte stehen.

Es ist beachtenswert, daß die Mehrzahl der Männer, welchen wir jene Gesetze verdanken, zwar der Chemie nicht fernstanden, aber doch mehr Physiker als Chemiker waren. Denn noch bis heute ist die entsprechende Richtung des Forschens in der

Chemie nicht herrschend geworden; noch bis heute wird fast die gesamte geistige Kraft, welche auf die Förderung unserer Wissenschaft verwendet wird, innerhalb jener beiden ersten Stufen: Herstellung und Beschreibung neuer Stoffe einerseits, und systematische Anordnung derselben andrerseits, verbraucht. In bezug auf den Grad der Entwicklung ist daher die Physik der Chemie weit voraus, wohl noch weiter als die Physik ihrerseits von der Astronomie überflügelt ist. In diesem Zusammenhange ist auch der gebräuchliche Name „physikalische Chemie“ für jene dritte Entwicklungsstufe verständlich: Physiker haben sie begründet und gefördert, und an die Physik gemahnt sie durch ihren Inhalt an allgemeinen, von der stofflichen Beschaffenheit des einzelnen Objektes unabhängigen, numerischen Gesetzen. Sachgemäßer aber ist unzweifelhaft der Name „allgemeine Chemie“, welcher den Gegensatz zur speziellen Chemie der einzelnen Stoffe und ihre Stellung über derselben zum Ausdruck bringt.

Bei der Beschreibung und Kennzeichnung der chemischen Verbindungen pflegt man von jeher ihre physikalischen und chemischen Eigenschaften zu unterscheiden, d. h. ihr Verhalten für sich und das zu anderen Stoffen. Beide Gebiete sind der Entwicklung zu jener höchsten dritten Stufe fähig. Der Inbegriff der allgemeinen Gesetze über die physikalischen Eigenschaften chemischer Verbindungen hat vom Begründer der gesamten allgemeinen Chemie bereits in der Wiege einen Namen erhalten: Z. B. Richter definierte die Stöchiometrie als „Meßkunst chymischer Elemente“. Aber auch die chemischen Eigenschaften der Stoffe haben sich allgemeinen Gesetzen unterworfen gezeigt. Insofern man die Ursache chemischer Vorgänge mit dem Namen der chemischen Verwandtschaft bezeichnet, mag die Wissenschaft von den chemischen Vorgängen Verwandtschaftslehre genannt werden. Dies sind die beiden großen Gebiete, in welche die physikalische oder allgemeine Chemie zerfällt.

Die Grundlage der Stöchiometrie ist das Gesetz der Verbindungsgewichte, welches in der Atomtheorie Daltons seine

anschauliche Darstellung gefunden hat. Die später entdeckten allgemeinen Gesetze sind alle von der Beschaffenheit, daß ein einfacher Ausdruck der vorhandenen Beziehungen erst auf Grundlage jenes Gesetzes gelingt. So kann das Gesetz von Gay-Lussac in der Form ausgesprochen werden, daß Gasmengen, welche im Verhältnis der Verbindungsgewichte stehen, gleiche Räume einnehmen (resp. solche, die in einfachen Verhältnissen stehen); eine ähnliche Formulierung gestattet das Gesetz von Dulong und Petit, und das von Faraday. Dies führt zu der allgemeinen Ansicht, daß auch die anderen Eigenschaften der Stoffe einfache und gesetzmäßige Beziehungen zeigen werden, wenn man sie auf Mengen bezieht, welche stöchiometrisch vergleichbar sind, d. h. auf die Verbindungs- oder Atomgewichte. Dies ist der Grundgedanke, von welchem die weitere Forschung nach stöchiometrischen Gesetzen ausging, und auf welchem zunächst die bahnbrechenden Arbeiten von Hermann Kopp über die Volumen der chemischen Verbindungen beruhen, denen sich die Arbeiten von H. Landolt über das Lichtbrechungsvermögen und viele andere angeschlossen haben.

Bei genauerer Untersuchung derartiger Beziehungen zeigten sich nun die Eigenschaften von mehrerlei Art. Die einen verhielten sich wie die Masse: in jeder Verbindung erwies sich das Maß der fraglichen Eigenschaft als die Summe der den Bestandteilen zukommenden Werte. So ist die Wärmekapazität einer Verbindung (bezogen auf das Formelgewicht) gleich der Summe der Wärmekapazitäten der Bestandteile und ähnliches gilt mehr oder weniger allgemein für das Volumen flüssiger Verbindungen, das Lichtbrechungsvermögen u. s. w. Solche Eigenschaften mögen additive heißen.

Für eine zweite Klasse von Eigenschaften ist das Volumen der gasförmigen Stoffe typisch. Wir nehmen etwa zwei Liter Wasserstoff und verbinden sie mit einem Liter Sauerstoff: es entsteht Wasserdampf und das Volumen bleibt unverändert. Wir denken uns diesen mit ölbildendem Gas (Äthylen) ver-

bunden; es entsteht Alkohol, und das Volumen bleibt unverändert. Wir denken uns noch eine gleiche Menge Äthylen mit dem Alkohol verbunden: es entsteht Äthyläther und das Volum bleibt wieder unverändert. Es können also sehr verschiedenartige Anhäufungen von Stoffen stattfinden, ohne daß bestimmte Eigenschaften dadurch Veränderungen erleiden. Solche Eigenschaften mögen in Ermanglung eines besseren Namens kolligative genannt werden. (1)

Aus dem Vorhandensein additiver Eigenschaften schließen wir, daß beim Vorgang der chemischen Verbindung die Stoffe ihre Natur und inneres Wesen nicht ändern, sondern nur ihre Erscheinungsform. Wasser wiegt deshalb ebensoviel, wie der Wasserstoff und Sauerstoff, aus welchem es besteht, weil diese bei der Bildung des Wassers nicht vollständig verschwunden sind, sondern sich nur anders geordnet haben. Wir sind gewohnt, diese und ähnliche Schlußfolgerungen aus der Tatsache der Erhaltung der Masse im Bilde der Atomhypothese zusammenzufassen. Indessen muß festgehalten werden, daß die erwähnten Tatsachen zwar sehr gute Gründe für die Brauchbarkeit der Atomhypothese sind, aber keine Beweise für ihre Wahrheit. Solche gibt es meines Erachtens überhaupt nicht.

Während die additiven Eigenschaften zur Atomhypothese geführt haben, ist durch die kolligativen der Molekularbegriff hervorgerufen worden. Daß jene oben erwähnten Gase und Dämpfe trotz der verschiedenartigsten Zusammensetzung immer das gleiche Volumen haben, läßt uns schließen, daß diese Eigenschaft gar nicht von der Menge und Natur der Materie abhängt, sondern von ihrer Anordnung zu bestimmten Gruppen. Wir nehmen an, daß die Atome sich in mannigfaltigster Art zu zusammenhängenden Gruppen vereinigen können, welche als Ganzes existieren und wirken, und welche man Molekeln nennt. Kolligative Eigenschaften sind dann solche, welche in bezug auf eine gleiche Zahl von Molekeln gleiche oder überhaupt gesetzmäßige Werte haben,

während additive solche sind, welche diese Eigenschaft in bezug auf eine gleiche Zahl von Atomen zeigen. Und das ist eben die große Bedeutung der in ihrer Gesetzmäßigkeit erkannten kolligativen Eigenschaften, daß sie eine der wichtigsten Fragen, die nach der Molekulargröße, zu beantworten gestatten.

Die Hauptaufgabe des einen Teiles der physikalischen Chemie, der Stöchiometrie, ist durch das Vorstehende nun anschaulich geworden. Es sind alle Eigenschaften der chemischen Verbindungen auf ihre Beziehungen zu den Atom- und den Molekulargewichten zu untersuchen und auf ihre etwaigen Gesetzmäßigkeiten zu prüfen. Während bisher meist die additiven Eigenschaften sich in dieser Weise fruchtbar erwiesen haben, hat sich in jüngster Zeit die Aufmerksamkeit mit großem Erfolg den kolligativen zugewendet, und wir besitzen gegenwärtig neben der Methode der Dampfdichtebestimmung schon mehrere gleichwertige, auf Bestimmung von Dampfdruck- und Erstarrungspunktsänderungen beruhende Methoden, welche gestatten, das Molekulargewicht auch nicht flüchtiger Stoffe zu ermitteln.

Damit sind indessen die Aufgaben der Stöchiometrie nicht abgeschlossen. Es gibt Eigenschaften, die weder ausschließlich durch die Atom- noch durch die Molekulargewichte bestimmt sind, denn sie zeigen verschiedene Werte, wenn auch jene gleich sind. Dahin gehören z. B. die Siedepunkte. Äthyläther und Butylalkohol haben gleiche Zusammensetzung und gleiches Molekulargewicht; dennoch siedet der eine bei 34°, der andere bei 117°. Hier muß man schließen, daß diese Eigenschaft von etwas abhängt, was bei gleicher Zahl und Natur der Atome in der Molekel noch verschieden sein kann. Das ist die Anordnung der Atome innerhalb der Molekel, die „chemische Konstitution“, und die betreffenden Eigenschaften mögen konstitutive genannt werden. Dies ist ein Gebiet, dessen Eroberung noch ganz der Zukunft angehört, da einigermaßen

umfassende Gesetzmäßigkeiten hier noch gar nicht erkannt worden sind, wenn auch Spuren davon in engeren Bezirken sich gezeigt haben.

Ist es schon ein reiches und mannigfaltiges Gebiet, welches der stöchiometrischen Forschung offen liegt, so ist das der Verwandtschaftslehre ihm an Bedeutung und Umfang noch weit überlegen. Die Stöchiometrie beschäftigt sich mit den fertigen Stoffen; die Verwandtschaftslehre mit dem Werden der Stoffe, mit den chemischen Vorgängen. Erinnern wir uns, daß alles Leben unabänderlich an den Verlauf chemischer Vorgänge gebunden ist, so erkennen wir, daß wir hier in der Tat vor „Lebensfragen“ allgemeinster Art stehen.

Bekanntlich ist alles materielle Geschehen in der Welt nichts als Umgestaltung der beiden „Substanzen“* Masse und Energie. Unter den verschiedenen Formen der letzteren spielt die chemische Energie, welche bei der chemischen Verbindung frei wird, eine ganz besonders wichtige Rolle. Denn ein Blick über die Quellen der Energie, welche wir für unsere Zwecke nutzbar machen, lehrt uns, daß sie in letzter Instanz immer auf chemische Energie zurückgehen.** Ob wir menschliche oder tierische Kraft verwenden, oder Kohle unter dem Dampfkessel verbrennen, oder endlich meteorologische Arbeitsvorräte, wie Wind und Wasser, welche durch die Sonnenwärme in Bewegung gesetzt wurden, benutzen: überall treffen wir chemische Energie als die letzte Quelle an. Denn daß auch die Sonne ihre Wärme den auf ihrer Oberfläche verlaufenden chemischen Vorgängen verdankt, ist heute kaum einem Zweifel unterworfen.

Die Messung der bei den verschiedenen chemischen Vorgängen freiwerdenden Energiemengen ist somit von größter

* Ich benutze diesen Ausdruck in seinem eigentlichen Wortsinne, um das zu bezeichnen, was unter allen Umständen bestehen bleibt.

** Die einzige mir bekannte Ausnahme ist die Verwendung von Ebbe und Flut zu Arbeitsleistungen, welche auf Kosten der Rotationsenergie des Erdballs geschieht.

Wichtigkeit. Am leichtesten läßt sich dieselbe ausführen, wenn man sie in Wärme übergehen läßt. Die Lehre von den Wärmevorgängen bei den chemischen Prozessen, die Thermochemie, ist daher hier in erster Reihe zu nennen. In gewissen Fällen kann man die chemische Energie als elektrischen Strom gewinnen. Der Thermochemie schließt sich daher die Elektrochemie an. Dabei macht sich der bedeutsame Unterschied geltend, daß, während die Thermochemie die ganze, bei einem chemischen Vorgang entwickelte Energie mißt, als elektrischer Strom immer nur ein bestimmter Anteil derselben erscheint, derjenige nämlich, welcher sich unbeschränkt in andere Energieformen verwandeln läßt. Diesen Teil hat von Helmholtz die freie Energie genannt; während die Thermochemie die Gesamtenergie des Vorgangs bestimmen lehrt, lehrt die Elektrochemie die freie Energie desselben messen.

Für alle Fragen nach den Energieänderungen bei chemischen Vorgängen kommt nur der Anfang und das Ende in Betracht, denn die Energieänderung ist nur von diesen abhängig, nicht aber von dem Wege, auf welchem die Änderung vor sich gegangen ist. Es muß daher weiterhin die Frage aufgeworfen werden, nach welchen Gesetzen chemische Vorgänge überhaupt verlaufen, und dies führt uns in den zweiten Teil der Verwandtschaftslehre, in die chemische Mechanik. Wie in der allgemeinen Mechanik die Einteilung in Statik und Dynamik sich als veraltet erwiesen hat, und der in Kinetik oder Bewegungslehre und Dynamik oder Kraftlehre Platz gemacht hat, so erweist sich auch die früher beliebte Trennung der chemischen Mechanik in die chemische Statik und Dynamik als unzulänglich und ist einer entsprechenden in chemische Kinetik und Dynamik gewichen.

Die chemische Kinetik hat mit dem allgemeinen Verlauf chemischer Vorgänge zu tun. Sie ist von dem Gesetz beherrscht, daß die Geschwindigkeit des Vorganges, d. h. die in der Zeiteinheit entstehende Menge der neuen Stoffe, in jedem Augen-

blick proportional der wirksamen Menge der beteiligten Stoffe ist. Dieses Grundgesetz ist neuerdings in den mannigfaltigsten Anwendungen erprobt worden, nachdem es zuerst im Jahre 1850 von Wilhelmy aufgestellt worden war, ohne irgendwelche Beachtung zu finden.

Ist so das Zeitgesetz des chemischen Vorganges erkannt, so kann die Frage nach den treibenden Kräften aufgeworfen werden. Wir gelangen zur chemischen Dynamik, von der die Statik einen besonderen Fall bildet, wo entgegengesetzt verlaufende Vorgänge sich gerade aufheben, so daß ein stationärer Zustand eintritt. Das alte Problem der Wahlverwandtschaften, welches in dem gleichnamigen Roman Goethes von dem Hauptmann so anschaulich den Damen des Hauses geschildert wird, findet hier seine Erörterung und Lösung. Die Intensität chemischer Kräfte wird in relativem, und neuerdings sogar in absolutem Maß ausgedrückt, und wie in der Stöchiometrie jeder Stoff sein charakteristisches Verbindungsgewicht besitzt, erscheinen hier dynamische Konstanten, welche die Fähigkeit der Stoffe, chemische Vorgänge hervorzurufen, nach Maß und Zahl kennzeichnen.

Dies ist in großen Zügen das Bild des Umfanges und Inhaltes der physikalischen oder allgemeinen Chemie. An Interesse und Bedeutung keinem anderen Gebiete der Naturwissenschaften nachstehend, an frischer Unberührtheit und daher großartigster Ergiebigkeit die meisten übertreffend, hat es doch nur langsam die Aufmerksamkeit der Forscher auf sich gezogen. Dies erklärt sich daraus, daß für die Chemie das letzte halbe Jahrhundert eine Art Verwirklichung der alchemistischen Träume brachte. Zwar nicht Gold herzustellen versteht der moderne Chemiker; er hat aber die Aufgabe erweitert und dadurch lösbar gemacht und weiß allerlei an sich wertloses Material mit Eigenschaften köstlichster Art auszustatten. Farben und Düfte und Arzneimittel, welche die Natur bisher nur spärlich bot, hat er gelernt, in reichlichster Fülle zu gewinnen, und

in atemlosem Wettlauf haben Theorie und Praxis dieser Vorgänge sich zu überholen gesucht. Wie in ein neuentdecktes Goldland drängte sich der Strom der Forscher in das Gebiet der organischen Chemie mit dem einen Ziel, Gold zu finden, d. h. neue Stoffe herzustellen; heftige Kämpfe entbrannten an allen Orten über Besitz und Wert der einzelnen Funde, und daß die Arbeit schließlich einen etwas mechanischen Charakter annahm, konnte bei der schier unerschöpflichen Fülle des Bodens nicht ausbleiben.

Gegenwärtig ist auch hier eine verhältnismäßige Ruhe eingetreten. Die frühere, dem Raubbau vergleichbare Methode der Forschung hat einen systematischeren Charakter gewonnen, und gleichzeitig beginnt man sich zu besinnen, daß die Kenntnis neuer Stoffe nicht das letzte Ziel der Wissenschaft ist. Als äußeres Zeichen dieser Wandlung sind seit dem letzten Dezennium über mehr oder weniger ausgedehnte Teile der physikalischen Chemie zahlreiche Lehrbücher erschienen, und seit diesem Jahre sammelt eine „Zeitschrift für physikalische Chemie" (Leipzig, bei W. Engelmann) die weit zerstreuten Arbeiter auf diesem Gebiete zu einheitlichem und dadurch um so wirksamerem Vorgehen. Eine stattliche Reihe von Namen besten Klanges sichert dem Unternehmen die erforderliche geistige Kapitalunterlage, und schon ist die Fülle des zuströmenden Materials so groß, daß eine Erweiterung des ursprünglich geplanten Umfanges wünschenswert erscheint.

So bereitet sich denn offenbar in unserer Zeit auch für die Chemie das Hinaufrücken aus der am Eingange dieses Aufsatzes geschilderten zweiten, systematischen, Stufe in die dritte, rationelle, vor. Wenn noch vor vier Jahren der berühmte Physiolog Emil du Bois-Reymond die physikalische Chemie die „Chemie der Zukunft" nannte, so darf man schon jetzt sagen, daß ihre Zukunft nicht mehr allzufern zu sein scheint.

2

ALTES UND NEUES IN DER CHEMIE

(Vortrag, gehalten in der Hauptversammlung der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte zu Bremen im September 1890.)

Hochansehnliche Versammlung!

Wer von Ihnen kennt nicht die köstliche Empfindung des Bergwanderers, der nach frischfröhlich begonnener Kletterarbeit in der Morgenfrühe die erste Ruhe hält! Zwar ist das Ziel noch nicht erreicht; noch türmen sich scheinbar unzugänglich Fels und Eis vor ihm auf. Aber er hat seine Kräfte erprobt und darf ihnen vertrauen. Was ihm versagt war, solange er sich zu mühen und das Auge fest auf das Nächste, was zu überwinden war, zu richten hatte, genießt er jetzt doppelt. Frei schweift der Blick vorwärts und zurück; tief unter ihm im Nebel liegt der Ausgangspunkt seiner Wanderung; mit heiterem Auge verfolgt er den durchmessenen Weg und erfreut sich der überwundenen Schwierigkeiten und erreichten Ausblicke. Zwar manchen Umweg hätte er, wie er nun sieht, kürzen und manchen mühselig erklommenen Fels umgehen können, aber die gehabte Mühe reut ihn nicht, denn er hat die Freude der Arbeit gehabt, und die nun gewonnene Erkenntnis kommt ihm für seinen weiteren Weg zu gute. Diesen prüft er mit ruhigem Blick; wachsen auch die Schwierigkeiten, je höher er führt, so wächst doch in gleichem Maße die Weite

des Ausblickes und die Großartigkeit der Umgebung: die Mühe und ihr Lohn liegen immer näher und näher beieinander.

Aus einer solchen Empfindung heraus, hochgeehrte Festgenossen, darf ich heute zu Ihnen reden. Ich stehe heute nicht für mich hier; nicht um über meinen bescheidenen Anteil an den wissenschaftlichen Fortschritten zu berichten, darf ich Ihre Aufmerksamkeit in Anspruch nehmen. Vielmehr war ich, als mich die ehrenvolle Aufforderung des Vorstandes unserer Gesellschaft an diesen Ort stellte, keinen Augenblick im Zweifel, daß dieselbe nicht meiner Person galt, sondern der wissenschaftlichen Richtung, welcher ich angehöre, der physikalischen Chemie. Die Sage von dem Beginn einer unerwarteten Umwälzung großer Gebiete der chemischen Anschauungen, einer Umwälzung, die, freilich in kleinerem Umfange, nicht weniger radikal ist, als der Übergang von der Phlogistontheorie zur Sauerstofftheorie, ist aus den Laboratorien und Studierstuben hinausgedrungen. Von den vielen, in deren Arbeitsgebiet die Chemie eingreift, fragt sich vielleicht dieser und jener besorgt, was denn von dem brauchbar bleibe, was er bisher als richtig angenommen hat, während eine Anzahl anderer entrüstet und mißmutig jedes Rütteln an dem zurückweist, was sie bisher als die unzweifelhaftesten Grundlagen der Wissenschaft angesehen haben. Angesichts dieses sind wir vor das Forum der größten Vereinigung deutscher Naturkundiger geladen worden, um Rechenschaft zu geben von dem, was wir erreicht zu haben glauben und was wir erstreben. Wir aber, die Arbeitsgenossen, in deren Namen ich hier reden darf, sind freudig diesem Ruf gefolgt. Ist er doch ein Zeichen dafür, daß unser Streben uns in ehrlicher Arbeit weit genug gefördert hat, um auch in denen, die andere Wege gehen, den Eindruck hervorzurufen, daß unser Pfad nicht in die Irre, sondern wirklich in die Höhe führt.

Freilich auch nicht ganz ohne Sorge bin ich an meine Aufgabe gegangen. Haben wir doch nichts von dem aufzu-

weisen, was unseren nächsten Fachgenossen, von deren Wegen wir uns zurzeit getrennt haben, in reichlichster Menge zu Gebote steht. Gegenüber der Fülle merkwürdiger und nützlicher Dinge, welche die Chemie unserer Zeit unerschöpflich zutage bringt, gegenüber der eminenten Förderung der Künste und Gewerbe einerseits, der Heilkunde andrerseits, welche jeden Schritt derselben begleitet, haben wir nichts ähnliches aufzuweisen. Wir können nur sagen: vertraut Euch unserer Führung an, und wir hoffen Euch auf Höhen zu leiten, von denen Ihr den grünen Wald, in dem Ihr so fröhlich arbeitet, und der Euch in seiner üppigen Fülle zwar auf jedem Schritte Früchte bietet, Euch aber doch den Blick in die Ferne beschränkt, einmal im Zusammenhang übersehen werdet. Zwar dehnt er sich noch weit in eine Ferne, die auch für unseren Standpunkt im blauen Schimmer versinkt. Aber über die Wipfel der nächsten Kronen hinaus können wir Euch führen, und wunderbar wird es Euch anmuten, wie so anders die altbekannten Dinge sich Eurem ungewohnten Auge darstellen und wie der Blick von hier Euch in wenigen Augenblicken Verhältnisse überschauen läßt, die Ihr bisher nur durch mühsames Wandern von Punkt zu Punkt habt erfassen können. —

Die physikalische Chemie oder, wie ich sie lieber nenne, allgemeine Chemie, hochansehnliche Versammlung, aus deren Entwicklungsgeschichte ich Ihnen einige Bilder vorführen möchte, ist keine Erwerbung der neueren Zeit; sie ist vielmehr so alt, als die wissenschaftliche Chemie selbst. Denn auch an der Chemie lassen sich die Entwicklungsstufen erkennen, welche jede Wissenschaft zurücklegen muß, und welche durch die drei Tätigkeiten: Kennenlernen, Ordnen und Begreifen bezeichnet werden. Wenn auch noch die Chemie unserer Tage sich wesentlich in den beiden ersten Tätigkeiten, dem Kennenlernen und dem Ordnen ihrer Gegenstände, bewegt, so hat doch die dritte Tätigkeit, das Begreifen, d. h. das kausale Zurückführen auf allgemeinere Erscheinungen, zu allen Zeiten als die

höchste gegolten, und die besten aller Zeiten haben auf diesem Boden ihr bestes zu leisten versucht. Demgemäß besitzt die Chemie seit langem einen Schatz allgemeiner Wahrheiten in den Gesetzen der Verbindungsgewichte, der Gasvolumen, der elektrolytischen Äquivalente, welchen auch von denen, welche in der Chemie wesentlich eine Experimentalwissenschaft, d. h. eine innerhalb jener beiden ersten Stufen verharrende Wissenschaft sehen wollen, die hervorragende Stelle nicht vorenthalten wird, die ihnen gebührt.

Ungeachtet dieser Wertschätzung war es doch, als ich vor fünfzehn Jahren meine Wanderung in das weitab von der gewohnten Straße liegende Gebiet der physikalischen Chemie begann, eine recht einsame Wanderung. Zwar ganz unbekanntes Land war es nicht. Abgesehen von den großen Toten hatte unter den Lebenden Robert Bunsen mit der unnachahmlichen Verknüpfung von Kühnheit des Gedankens und Besonnenheit der Ausführung, welche ihm eigen sind, scheinbar unzugängliche Höhen erreicht, aber die Wege, welche sein Fuß zu gehen vermochte, blieben anderen meist verschlossen. Andrerseits hatte Hermann Kopp einen Zugang von verhältnismäßig gangbarer Beschaffenheit zu entdecken gewußt, der nicht nur zu einem Gipfel, sondern zu einer ganzen Reihe eng verbundener Höhenpunkte führte, und welcher, nachdem er einmal gangbar gemacht war, von verhältnismäßig zahlreichen Wanderern, unter denen ich Ihnen als einen der frühesten und erfolgreichsten Landolt nenne, beschritten und erweitert wurde. In unnahbarer Majestät standen aber noch die großen Probleme da, wie sie sei dem Beginn der wissenschaftlichen Chemie sich vor den Augen der Forscher aufgetürmt hatten: was sind die Gesetze und was ist die Ursache der chemischen Vorgänge? Freilich hatte schon vor mehr als hundert Jahren, zu einer Zeit, wo weder der Sauerstoff, noch das Gesetz der konstanten Proportionen bekannt war, ein einsamer Denker, Namens Wenzel, einen richtigen Weg gezeigt, welcher nach diesen

Höhen zu führen vermochte. Bald darauf versuchten Bergmann und Berthollet, jeder in seiner Weise, sich durch die steinige Wildnis der Erfahrungstatsachen ihren Weg nach dem gleichen Ziele zu bahnen. Beide griffen bald genug zu der verräterischen Hilfe frühzeitiger Generalisationen; sie erhoben sich dadurch zwar über die sie umgebenden Schwierigkeiten, hatten aber bald den Boden der Tatsachen nicht mehr unmittelbar unter den Füßen und ihre Zeitgenossen und nächsten Nachfolger mochten sich dem unsicheren Gebäude ihrer Hypothesen nicht anvertrauen, so gutes Material auch namentlich Berthollet dazu verwendet hatte.

Und nun begann für die Chemie nach anderer Seite eine Entwicklung, wie sie sich vielleicht bisher in keiner anderen Wissenschaft wiederfindet. Es kann heute nicht meine Aufgabe sein, Ihnen dieselbe zu schildern; Sie wissen Alle, wie die großen Entdeckungen am Beginn unseres Jahrhunderts einen Strom weiterer Entdeckungen entfesselt haben, welche die Chemie in dem kurzen Zeitraum, der noch kein Jahrhundert umfaßt, zu dem stolzen Reiche gemacht haben, als welches sie heute dasteht. Aber dieser Siegeslauf berührte nicht jene steilen Höhen; die ganze ungeheure Summe von Genie und Arbeitskraft, welche der jungen Wissenschaft zugewendet wurden, dienten dazu, jene beiden ersten Stufen der Entwicklung zu gewinnen: die Objekte kennen zu lernen und sie zu ordnen. Da in der Chemie die Zahl der ersten unbegrenzt ist, indem jeder neu entdeckte Stoff der Ausgangspunkt zu weiteren Verbindungen ist, so ist dieser Umstand ebenso begreiflich wie gerechtfertigt.

Selten nur hat während dieser Zeit ein kühner Pionier einen Angriff auf jene großen Probleme gewagt, und keiner von ihnen mochte trotz manchen glänzenden Fundes, den heimzubringen ihm gelang, seine ganze Kraft jener Richtung weihen. Aber allmählich mehrte sich die Zahl solcher Männer, denn selbst bei denen, die in eifriger gemeinsamer Arbeit die

überreichen Früchte der organischen Chemie ernteten, wurde das Bewußtsein allmählich rege, daß die Eroberung jener höchsten Gebiete zwar aufgeschoben werden könne, aber doch das letzte Ziel der wissenschaftlichen Tätigkeit bleiben müsse.

So sehen wir denn endlich eine Reihe von Männern ihre Kraft denselben zuwenden. Thomsen und nach ihm Berthelot erforschten die Verhältnisse der chemischen Energie, wie sie sich in den Wärmewirkungen chemischer Vorgänge zu erkennen gibt, Horstmann, Pfaundler, Willard Gibbs und von Helmholtz wendeten die inzwischen in der Physik gewonnenen großen Verallgemeinerungen der mechanischen Wärmetheorie, ferner die kinetische Hypothese auf chemische Verhältnisse an, Guldberg und Waage endlich faßten die Arbeit Berthollets wieder auf, und brachten die von ihm angeregten Vorstellungen über den Einfluß der Masse bei chemischen Vorgängen in eine exakte, dem Versuche zugängliche und von demselben gerechtfertigte Gestalt.

An diese Führer schlossen sich bald Nachfolger; als ich vor etwa fünf Jahren in einem zusammenfassenden Werke die Summe dessen zog, was über das Problem der chemischen Verwandtschaft erforscht war, durfte dies Gebiet schon als ein selbständiges, von eigenartigem frischem Leben erfülltes seinen Platz in der Wissenschaft beanspruchen. (2)

Ihrem allgemeinen Inhalt nach war die neuere Verwandtschaftslehre aus dem Vorstellungskreise hervorgewachsen, welcher in der Hauptsache auf Bergmann und namentlich Berthollet zurückzuführen ist. Ihr unterscheidendes Merkmal, das freilich von allerwesentlichster Bedeutung ist, besteht in dem Inhalt an scharf formulierten und an der Erfahrung bewährten zahlenmässigen Gesetzen, welche an die Stelle der etwas unbestimmten Anschauungen jener alten Forscher getreten sind. Demgemäß trat sie kaum irgendwo in Gegensatz zu den aus gleicher Quelle geflossenen allgemein verbreiteten Anschau-

ungen in der Chemie, und man ließ sie um so lieber gelten, je weniger sie Anspruch darauf machte, in diese Kreise einzugreifen.

Diesem harmlosen Zustande ist keine Dauer beschieden gewesen. Die konsequente Entwicklung und Vertiefung der allgemeinen Affinitätsgesetze führte mit zwingender Notwendigkeit zu Anschauungen, welche mit jenen älteren mehr und mehr in einen Gegensatz traten, der augenblicklich in schroffster Form besteht. Das Gebiet, in welchem sich dieser Gegensatz zuerst geltend machte und alsbald in voller Schärfe entwickelte, ist das der Beziehungen zwischen den chemischen und elektrischen Erscheinungen.

Die Geschichte dieser Beziehungen ist so alt, wie die der elektrischen Ströme. Unmittelbar nachdem Volta seine Entdeckung der verstärkten Berührungselektrizität in einem Brief an den damaligen Präsidenten der Royal Society in London bekannt gemacht hatte, teilten Nicholson und Carlisle mit, daß sie mittelst der Voltaschen Säule die Zerlegung des Wassers ausgeführt hätten, und damit begann eine unübersehbare Reihe von Untersuchungen über die Zerlegung chemischer Verbindungen durch den galvanischen Strom. Überall wurden Voltasche Säulen gebaut, und alle möglichen Dinge wurden zwischen die Poldrähte gebracht.

Wenn auch bei dieser Art der Arbeit sich zunächst nur sehr zweifelhafte wissenschaftliche Resultate ergaben, so bildeten einige hierbei gemachte Beobachtungen doch für Humphry Davy den Ausgangspunkt seiner gleich sehr durch logische Schärfe der Fragestellung wie Geschicklichkeit und Originalität nach experimenteller Seite ausgezeichneten Untersuchungen, die in der Entdeckung des Kaliums und Natriums gipfelten. Das Aufsehen, welches diese Entdeckung machte, war ein ungeheures; alle wissenschaftlichen Zeitschriften jener Zeit sind voll von Berichten über Davys Versuche und über Wiederholungen derselben. Es war eine Bewegung ähnlicher Art, wie sie in

unseren Tagen durch die Versuche von Hertz hervorgerufen worden ist.

Es ist merkwürdig genug, daß die Gestaltung der Elektrochemie durch die Entdeckung Davys viel weniger beeinflußt wurde als durch eine Arbeit von viel bescheidenerer Beschaffenheit, nämlich die Untersuchungen von Berzelius und Hisinger über das Verhalten einer Reihe von Salzen gegen den galvanischen Strom. Es waren hauptsächlich die Salze der Alkalien und alkalischen Erden, welche zur Untersuchung gelangten. Berzelius fand, daß diese Sauerstoff und Wasserstoff an beiden Polen entwickelten; daneben erschien an dem einen Pol Säure, an dem anderen erschienen die basischen Stoffe.

Diese, dem damaligen Stande der Experimentalwissenschaft entsprechend wenig eingehende Arbeit ist für die Ausgestaltung der theoretischen Chemie durch fast ein halbes Jahrhundert maßgebend geworden. Berzelius nahm die Säuren und die Basen, welche er bei der Elektrolyse auftreten gesehen hatte, als die eigentlichen Bestandteile der Salze an. Um diese Ansicht durchzuführen, durfte er allerdings nicht diese Stoffe, wie wir sie kennen, als die eigentlichen Säuren und Basen ansehen, sondern ihre Anhydride, die nur zum kleinsten Teil bekannt waren. Die Verbindungen des Chlors, Broms, Jods u. s. w. mit den Metallen mußten, obwohl sie völlig den Charakter der anderen Salze tragen, in eine besondere Klasse verwiesen werden. Kurz, die Auffassungsweise von Berzelius bedingte so viele Inkonsequenzen und Widersprüche, daß es schwer begreiflich erscheint, wie sie überhaupt zur Annahme hat gelangen können; sie hat aber tatsächlich die Chemie durch vier Dezennien vollkommen beherrscht.

Es wäre ein schlechter Historiker, der sich mit der Feststellung dieses Gegensatzes begnügen wollte, und nicht die Ursache aufzuspüren suchte, welche jene Herrschaft bedingt und gerechtfertigt hat. Wie stets in solchen Fällen hat ein richtiger Grundgedanke trotz seiner Belastung mit mißverständ-

lichen Nebenannahmen Tragfähigkeit genug gehabt, um die Anschauungsweise oben zu erhalten. Dieser gesunde und dauernde Bestandteil der Theorie von Berzelius aber ist der elektrochemische Gegensatz.

Der elektrochemische Gegensatz ist eine Tatsache, denn der elektrische Strom scheidet jeden Stoff, welchen er zersetzt, in einen Anteil, welcher im Sinne des positiven, und einen anderen Anteil, welcher im Sinne des negativen Stromes wandert, in die beiden Ionen. Der eigentliche Inhalt von Berzelius' Theorie bestand in der konsequenten Durchführung dieses Gegensatzes, und zwar auch in Gebieten, in welchen die Fundamentalerscheinung, die Scheidung durch den Strom, nicht mehr zur Geltung kam. Diese Ausdehnung des experimentellen Satzes über den Berich der beobachtbaren Tatsachen hinaus war zunächst die Stärke der Theorie, denn es wurde dadurch eine Systematik der gesamten Chemie ermöglicht, wie sie einfacher und übersichtlicher kaum denkbar war. Sie wurde aber zum schwachen Punkt der Theorie von dem Augenblicke an, wo die Untersuchung solcher Stoffe in den Vordergrund trat, welche nicht den Strom leiten und somit dem Gesetz des elektrochemischen Dualismus nicht unterworfen sind: die elektrochemische Theorie von Berzelius wurde durch das Aufblühen der organischen Chemie zu Falle gebracht.

Es ist lehrreich, zu sehen, daß nicht die Fehler, welche Berzelius in seiner Auffassung des Zerlegungsvorganges der Elektrolyte gemacht hatte, seiner Theorie zum Unheil gereichten, sondern die Ausdehnung einer an sich richtigen Betrachtungsweise auf Fälle, in welchen sie keine Geltung hatte. Berzelius hatte vollkommen Recht, wenn er gegen die Substitutionstheorie einwendete, daß der elektropositive Wasserstoff nie durch das elektronegative Chlor ersetzt werden könne; in der Tat gibt es keinen Elektrolyten, in welchem das Ion Wasserstoff durch das Ion Chlor ersetzbar wäre. Er hatte aber Unrecht, diesen Satz auf die organischen Verbindungen anzuwenden, welche

nicht Elektrolyte sind und bei welchen daher weder der Wasserstoff positiv, noch das Chlor negativ genannt werden darf.

Wie gewöhnlich bei derartigen großen Umwälzungen der Anschauungen schüttete man alsbald das Kind mit dem Bade aus. Weil der elektrochemische Gegensatz in den organischen Verbindungen nicht in die Erscheinung tritt, übersah man seine Bedeutung bald völlig. Waren bis dahin die organischen Verbindungen nach dem Muster der anorganischen aufgefaßt worden, so kehrte man den Spieß um und faßte die anorganischen, insbesondere die Salze, nach dem Muster der organischen Verbindungen auf; die Theorie der binären machte der der unitären Verbindungen Platz.

Zunächst wurde hierbei der alte Irrtum von Berzelius über die Bestandteile der Salze berichtigt. Nach dem Substitutionsschema durften diese nicht mehr als Verbinduug von Säureanhydrid mit Metalloxyd aufgefaßt werden; die Säuren sind vielmehr Wasserstoffverbindungen und die Salze sind Substitutionsprodukte derselben, in denen der Wasserstoff durch Metall ersetzt ist. Diese Auffassungsweise, deren Durchführung wir Liebig verdanken, beseitigte die künstliche Schranke zwischen den Sauerstoff- und Haloidsalzen und brachte die chemischen Anschauungen mit den Tatsachen der Elektrolyse, wie sie namentlich von Daniell beobachtet und betont worden waren, in Übereinstimmung.

Um dieselbe Zeit führte Faraday seine fundamentalen elektrochemischen Untersuchungen aus, die in der Entdeckung des elektrolytischen Grundgesetzes gipfelten. Wir können dasselbe in allgemeinster Form so aussprechen: Alle Elektrizitätsbewegung in Elektrolyten erfolgt durch Bewegung der elektrisch geladenen Teilmolekeln oder Ionen, und an chemisch äquivalenten Mengen der elektrolytischen Teilmolekeln oder Ionen haften gleiche Mengen Elektrizität.

Es ist bemerkenswert, zu sehen, wie gering der Einfluß gewesen ist, welchen diese Entdeckung auf die damalige Chemie

geübt hat. Berzelius polemisierte auf das heftigste gegen dieselbe, und den übrigen Chemikern war sie gleichgültig, da sie den im Vordergrund des Interesses stehenden Gegenstand, die organische Chemie, nicht berührte.

Nunmehr trat ein vollständiger Stillstand ein. Gelegentliche Anwendungen des elektrischen Stromes, wie die Elektrolysen organischer Säuren von Kolbe und von Kekulé, änderten hieran nichts, und die Bestrebungen der Physiker, in das Wesen der elektrolytischen Vorgänge Klarheit zu bringen, fanden bei den Chemikern keinen Wiederhall, denn sie ergaben Anschauungen, welche den in der Chemie gebräuchlichen stracks zuwiederliefen.

Die alte Vorstellung von Grotthus, nach welcher in rhythmischen Intervallen die Bestandteile der Elektrolyte durch die elektrostatischen Anziehungen der Elektroden zerrissen werden sollen, worauf die Reste nach schneller Wendung einen Tausch der Bestandteile der unzerlegten Molekeln veranlassen sollten, erwies sich mit den Tatsachen im Widerspruch. Die Stromleitung in Elektrolyten erfolgt nicht stoßweise, sondern die Elektrizität gehorcht den leisesten Impulsen, genau wie in metallischen Leitern. Clausius sah sich deshalb veranlaßt, den unvermeidlichen Schluß zu ziehen, daß auch die ponderablen Träger der Elektrizität in den Elektrolyten nicht unbeweglich verbunden sein könnten; den Chemikern aber, welchen eine derartige Annahme freier Ionen, also z. B. die Annahme von freiem Kalium und freiem Chlor in einer Lösung von Chlorkalium Grausen erregte, machte er das Zugeständnis, daß diese Freiheit den Ionen nur für einzelne Augenblicke und überhaupt nur einem sehr kleinen Bruchteil der vorhandenen elektrolytischen Molekeln zuzukommen brauche.

Auch eine andere Erscheinung der Stromleitung in Elektrolyten machte die Annahme freier Ionen unvermeidlich. Kirchhoff hatte die Bedingungen der elektrischen Ströme entwickelt; dabei hatte sich ergeben, daß ein von Elektrizität durchströmter Leiter

auf seiner Oberfläche mit freier Elektrizität bedeckt sein müsse, deren Potential in gesetzmäßiger Weise längs des Leiters abnimmt. Hittorf stellte zuerst die Frage, in welcher Gestalt diese freie Elektrizität bei elektrolytischen Leitern vorhanden sei, freilich ohne Antwort zu erhalten oder sie selbst zu geben. Wollte man konsequent sein, so war es nur möglich, auch diese Ladung durch die Ansammlung positiv oder negativ elektrisch geladener freier Ionen zu denken.

Ein Ausweg war indessen noch vorhanden. Es konnte ja neben der Elektrizitätsbewegung durch Ionen noch eine solche durch die Masse des Leiters, ähnlich der Bewegung in Metallen, stattfinden. Schon Faraday hat diese Möglichkeit ins Auge gefaßt, und man darf wohl sagen, daß nichts sich hinderlicher für die Verwertung und Anwendung seines wichtigen Gesetzes gezeigt hat, als eben diese Annahme. Doch sind alle Versuche, eine „metallische" Leitung in Elektrolyten nachzuweisen, gescheitert, und auch die empfindlichsten Methoden haben keine Spur einer solchen entdecken lassen. Mit aller Sicherheit, deren eine wissenschaftliche Behauptung fähig ist, dürfen wir somit den ersten Teil des Gesetzes von Faraday als streng ansehen: alle Elektrizitätsbewegung in Elektrolyten erfolgt gleichzeitig mit einer Bewegung der Ionen, an welchen die Elektrizität haftet.

Geben wir aber dies zu, so stehen wir vor folgendem Syllogismus:

A. Die Elektrizität bewegt sich frei in den Elektrolyten.

B. Die Elektrizität bewegt sich in den Elektrolyten nur gleichzeitig mit den Ionen.

C. Folglich bewegen sich die Ionen frei in den Elektrolyten.

So sind wir aus den physikalischen Betrachtungen unmittelbar in chemische Ergebnisse gelangt. Wir müssen zugeben, daß in Elektrolyten freie Ionen existieren; freilich bleibt zunächst unbestimmt, in welcher Menge.

Auch diese Frage sind wir jetzt im stande, zu beantworten. Zu der Antwort sind wir auf einem Wege gelangt, welchen uns van'tHoff und Arrhenius gewiesen haben.

Van'tHoff hat vor einigen Jahren gezeigt, daß die Gesetze, welche die im zerstreuten Zustande befindliche Materie beherrschen, dieselben sind, ob dieser Zustand der Zerstreuung oder Verteilung von wenig Stoff in viel Raum dadurch hervorgebracht werde, daß der Stoff die Gasform annimmt, oder daß er sich im Zustande einer verdünnten Lösung befindet. Die Ursache davon ist in beiden Fällen die, daß die weit voneinander entfernten Teilchen oder Molekeln nicht mehr durch ihre spezielle Beschaffenheit, sondern wesentlich nur noch durch ihre Zahl sich betätigen. Ebenso, wie nach dem Satz von Avogadro eine gleiche Anzahl beliebiger Gasmolekeln bei gleicher Temperatur und gleichem Volum auch gleichen Druck ausüben, so beeinflußen auch beliebige Molekeln, zu gleicher Zahl in gleichen Mengen eines Lösungsmittels aufgelöst, dessen Eigenschaften, namentlich den Erstarrungspunkt und den Dampfdruck, in gleichem Maße. Durch die umfassenden Arbeiten Raoults sind diese Gesetzmäßigkeiten, von denen früher nur einzelne unvollständige Bruchteile bekannt waren, als sehr allgemein gültig nachgewiesen worden; die theoretischen Arbeiten van'tHoffs und Max Plancks gaben den empirischen Beziehungen Raoults die thermodynamische Begründung und Vertiefung, und so befindet sich die Chemie seit einigen Jahren im Besitz ausgiebiger Hilfsmittel zur Erkenntnis des molekularen Zustandes der Materie im gelösten Zustande. Dank den Bemühungen von Viktor Meyer und Auwers, von Eykmann, namentlich aber von Ernst Beckmann sind die aus diesen Beziehungen sich ergebenden Methoden bereits überall in den chemischen Laboratorien verbreitet und erleichtern den Forschern ihre Arbeit in hohem Maße.

In einem Falle schienen aber diese Gesetze eine Ausnahme zu erleiden. Die wässerigen Lösungen der Salze (Säuren und Basen eingeschlossen) verhalten sich nicht, wie alle anderen

Lösungen. Vielmehr wirken die gelösten Salze so, als wären in den Lösungen viel mehr Molekeln vorhanden, als nach ihrer Formel da sein können. Man muß gestehen, daß eine solche Abweichung gerade bei den bekanntesten Stoffen Bedenken gegen van'tHoffs Theorie der Lösungen erregen mußte, und sie hat in der Tat ihre Annahme wesentlich verzögert.

Derjenige, welcher diese Schwierigkeit nicht nur beseitigte, sondern dieses Gebiet der Ausnahme gerade zu den glänzendsten und fruchtbarsten der gesamten Theorie machte, war Svante Arrhenius. Er wies darauf hin, daß die Abweichungen von den einfachen Gesetzen und die Fähigkeit, den galvanischen Strom elektrolytisch zu leiten, stets gleichzeitig vorhanden sind, und somit auf denselben Grund zurückgeführt werden müssen. Und dieser Grund ist der Zerfall der Elektrolyte in freie Ionen oder die elektrolytische Dissoziation.

Daß freie Ionen in den elektrolytischen Lösungen vorhanden sein müssen, haben wir schon gesehen, nur war es nicht möglich gewesen, aus den dort besprochenen Erscheinungen ihre Anzahl abzuleiten. Hier haben wir das Mittel, auch diesen Schritt zu tun, und das Ergebnis ist merkwürdig genug. Eine Lösung von Chlorkalium verhält sich beim Vergleich mit einer Lösung von z. B. Rohrzucker so, als enthielte sie statt der Anzahl Molekeln, welche ihr nach der Formel KCl und dem entsprechenden Molekulargewicht zukommen sollte, eine nahezu doppelt so große Zahl. Wir müssen somit nach Arrhenius annehmen, daß fast alle Molekeln des Chlorkaliums in die Teile Kalium und Chlor zerfallen sind, so daß die Gesamtzahl der Molekeln sich verdoppelt hat.

Das ist in der Tat ein unerwartetes Resultat. Waren die Chemiker allenfalls bereit, mit Clausius das vorübergehende Bestehen einiger weniger freier Ionen anzunehmen, in welche bei den „Zusammenstößen" der Molekeln in der Lösung diese gelegentlich zertrümmert werden konnten, mochten auch die-

jenigen, welche der Kirchhoffschen Folgerung Beachtung schenkten, sich dazu verstehen, dass unter dem Zwangszustande der elektrischen Ladung dauernd einzelne Ionen im freien Zustande existieren könnten, so schien doch das Ansinnen, z. B. im Meerwasser statt des unschuldigen Kochsalzes freies Chlor und freies Natrium annehmen zu sollen, so ungeheuerlich, daß mit dieser Konsequenz die ganze Theorie ad absurdum geführt zu sein schien.

Da aber bot sich dem ironisch Zuschauenden ein seltsames Schauspiel dar. Diese absurde Theorie wurde auf eine Erscheinung nach der anderen angewendet, und unterwarf ein Gebiet nach dem anderen ihrer Herrschaft. Zunächst zeigte Arrhenius, daß die von Kohlrausch mit unvergleichlicher Sorgfalt und Ausdauer studierten Erscheinungen der elektrischen Leitfähigkeit die genauesten numerischen Beziehungen zu den oben erwähnten Abweichungen der elektrolytischen Lösungen von den allgemeinen Gesetzen aufwiesen, so daß man die einen aus den anderen nicht nur schätzen, sondern berechnen kann. Er zeigte, einen Gedanken von Hittorf ausführend, daß elektrische Leitfähigkeit und chemische Reaktionsfähigkeit zwei vollkommen parallel gehende Eigenschaften sind, indem beide von der Anzahl der freien Ionen, die zum Transport der Elektrizität ebenso bereit sind, wie zum Eingehen in chemische Reaktionen, abhängen. Alsbald konnte ich bestätigen, daß diese Beziehung in allgemeinster Weise gültig ist; das, was man die Stärke oder die chemische Verwandtschaftskraft einer Säure oder Basis nennt, wird unmittelbar durch die elektrische Leitfähigkeit gemessen, und damit wurde es möglich, die Bestimmung dieser wichtigen Größe in so viel Minuten auszuführen, als ich früher Tage dazu gebraucht hatte. Auf die Größe der elektrischen Leitfähigkeit hat die Verdünnung, wie schon Kohlrausch fand, einen wechselnden, zuweilen sehr erheblichen Einfluß. Liegt hier, wie Arrhenius annahm, eine Dissoziation vor, so mußten die Dissoziationsgesetze, wie sie für Gase schon früher abgeleitet

waren, auf diese Erscheinung Anwendung finden. (3) Das Ergebnis einer entsprechenden Rechnung war das denkbar günstigste; in einem Umfange, welcher bei Gasen nie der Beobachtung zugänglich war, bestätigte sich das Dissoziationsgesetz, und zwar nicht nur an einzelnen Stoffen, sondern überall, wo seine Anwendung versucht wurde. Wie gründlich hier die Prüfung war, ist daraus zu ersehen, daß sie sich bis jetzt auf 300 bis 400 verschiedene Stoffe, und stets mit günstigen Resultaten, erstreckt hat.

Diesem Anfang entsprach der Fortgang der Theorie. Die Erscheinungen der Diffusion, der elektrischen Ladungen der Flüssigkeitsketten, die Gesetze der Löslichkeit, die Tatsachen der alltäglichen, chemisch-analytischen Reaktionen, die Gesetze der chemischen Verwandtschaft, das Hesssche Gesetz der Thermoneutralität und andere Teile der Thermochemie, die elektro-physiologischen Erscheinungen sind alles Gebiete, welche durch diese Theorie Aufklärungen, zum Teil fundamentaler Art, erfahren haben. Damit habe ich auch nicht einmal andeutend alles erschöpfen können, was hier geleistet worden ist, geleistet von den wenigen tätigen Anhängern dieser Theorie, unter denen noch die Namen Walter Nernst und Max Planck zu nennen sind, und in den wenigen Jahren ihres Bestehens, seit dem Dezember des Jahres 1887. Und zwar handelt es sich hier nicht um vage Allgemeinheiten, an denen jede beliebige Theorie bald so reich werden kann, als es die Ausdauer ihrer Vertreter und die Geduld ihres Publikums nur will, sondern um scharfe, meist zahlenmässige Beziehungen, die der Prüfung an der Erfahrung überall zugänglich waren und sie mit Ehren bestanden haben.

In der Wissenschaft entscheidet der Erfolg, und fürwahr, er hat in diesem Falle so unzweideutig wie möglich entschieden. Wenn eine Theorie den Zweck hat, vorhandene Tatsachen in gegenseitige Beziehungen zu bringen und neue voraussehen zu lassen, so hat die Theorie der elektrolytischen

Dissoziation sich als weit zweckentsprechender erwiesen, als manche allgemein angenommene und weit verbreitete Theorie. (4)

Damit sind aber doch die Schwierigkeiten nicht gehoben, welche gerade der Chemiker gegenüber der Grundannahme der Theorie, der Existenz „freier Ionen“ empfindet. Wenn in einer Lösung von Chlorkalium freies Kalium vorhanden ist, warum zersetzt es nicht das Wasser, wie es freies Kalium tut? Eine Antwort auf diese Frage erhalten wir, wenn wir uns darüber klar werden, was denn eigentlich geschieht, wenn Kalium auf Wasser einwirkt.

Wir wissen, es entsteht Kaliumhydroxyd und Wasserstoff. Eine Lösung von Kaliumhydroxyd ist aber ein guter Leiter und besteht daher nach unserer Theorie wiederum aus den freien Ionen Kalium und Hydroxyl. In dem Einwirkungsprodukt des metallischen Kaliums auf Wasser, dem Kaliumhydroxyd, ist also das Kalium in demselben Zustande enthalten, wie in der Lösung des Chlorkaliums; es könnte also bei dieser vorausgesetzten Einwirkung nichts anderes aus dem Kalium entstehen, als was schon vorhanden ist, und somit fehlt jeder Grund zu einem besonderen Vorgange.

Gleichzeitig sehen wir den Fehler in dem erwähnten Einwande. Kalium im sogenannten freien Zustande und Kalium als freies Ion sind bei weitem nicht dasselbe; sie sind es so wenig, daß die meisten und charakteristischsten Reaktionen des metallischen Kaliums durch seine Neigung, in den Zustand des freien Ions überzugehen, bedingt werden. Worin das Wesen dieses Unterschiedes besteht, vermögen wir völlig nicht zu sagen; das wichtigste Element dieser Verschiedenheit ist jedenfalls der Umstand, daß die Kaliumionen mit großen Mengen positiver Elektrizität beladen sind, während das metallische Kalium unelektrisch ist.

Hier sehen wir nun gleichzeitig die Anfänge einer neuen elektrischen Theorie der chemischen Verwandtschaft liegen, nach welcher die chemischen Vorgänge zwischen Elektrolyten

nicht durch die sogenannte „Verwandtschaft“ zwischen den verschiedenen aufeinander wirkenden Substanzen bestimmt werden, sondern durch die elektrischen Verhältnisse ihrer Ionen. In einer Lösung von Kupfervitriol haben wir die Ionen des Kupfers und der Schwefelsäure, beide zum größten Teil unverbunden. Ein Stück Zink, in diese Lösung gebracht, scheidet Kupfer aus und bildet Zinksulfat. In letzterem bestehen wieder die Ionen des Zinks und der Schwefelsäure nebeneinander. Die Beziehungen der Schwefelsäureionen zu dem einen Metall sind keine anderen, als die zum zweiten Metall, woher also der chemische Vorgang? Die Antwort ist: nicht die Verwandtschaft der Metalle zur Schwefelsäure bedingt die Reaktion, sondern, wenn mir der Ausdruck gestattet ist, die Verwandtschaft der Metalle zur positiven Elektrizität bedingt sie. (5) Das Zink vermag den Kupferionen ihre elektrische Ladung zu entziehen; dadurch geht es selbst als Ion in Lösung und das Kupfer wird im unelektrischen Zustande als gewöhnliches Metall ausgeschieden.

Es kann nicht meine Aufgabe sein, Ihnen weiter zu zeigen, wie wunderbar neu und fruchtbar sich die Betrachtung der altgewohnten chemischen Vorgänge unter diesem Gesichtspunkt gestaltet, wie wir plötzlich die Notwendigkeit alltäglicher Erscheinungen einsehen, mit deren Aufklärung man sich bisher nicht etwa deshalb nicht beschäftigt hatte, weil sie klar waren, sondern weil man sich daran gewöhnt hatte, sie unaufgeklärt hinzunehmen. Es genügt, zu betonen, daß wir wieder, wie vor 80 Jahren, einer Epoche der Elektrochemie entgegengehen. (6)

So sehen wir wieder den Kreis der Ideen sich schließen. Von dem ersten Versuch, die elektrischen Erscheinungen als Ursache der chemischen zu erkennen, ist, nachdem er seine formalen Früchte getragen hatte, nicht viel mehr als das leere Stroh übrig geblieben. Nun sehen wir aus derselben Wurzel ein neues Gewächs kräftig emporgedeihen. Es hat schon Früchte gewichtigster Art gebracht und bringt sie fortdauernd;

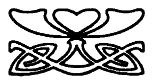
die hoffenden Augen seiner Pfleger sehen noch zahllose Blütenknospen an den äußersten Zweigen schimmern, denen sie günstige Entwicklung wünschen. Einer Sorge aber können wir uns nicht erwehren. Was ich Ihnen heute vor Augen zu führen gesucht habe, ist nur ein Teil des Feldes, welches die physikalische Chemie bebaut, wenn auch einer der wichtigsten. Allüberall steht der Boden nach bald hundertjähriger Brache strotzend vor Fruchtbarkeit, die geringste Mühe hundertfältig lohnend. Aber der Arbeiter sind wenige, und ihre Unterkunft ist dürftig. Wie weit und umfassend die Aufgaben sind, welche die Experimentalchemie, insbesondere die organische, noch zu lösen hat, ist Ihnen im vorigen Jahre aus beredtem Munde geschildert worden; die ihr gewidmeten Anstalten haben nur ausnahmsweise Raum für die Forschungen der physikalischen Chemie. Dazu kommt, daß die letztere mit ganz anderen Hilfsmitteln und Methoden arbeitet, als jene. Dem Forscher in unserem Gebiet müssen die feinsten physikalischen Meßinstrumente vertraut sein; daß deren Handhabung sich in einem von Säuredämpfen erfüllten chemischen Laboratorium von selbst verbietet, braucht nicht erst bewiesen zu werden. Eigene Institute sind also eine Notwendigkeit für die Fortentwicklung der physikalischen Chemie, eigene Institute und eigene Lehrer. In Deutschland existiert aber bis zur Stunde nur ein einziges solches Institut und ein einziger Lehrstuhl. Die erleuchtete sächsische Staatsregierung hat von jeher mit feinstem Gefühl den Bewegungen der Wissenschaft zu folgen gewußt, und die Universität Leipzig, der ich anzugehören das Glück habe, verdankt ihren wissenschaftlichen Charakter nicht zum wenigsten der Liberalität, mit welcher neue, außerhalb des hergebrachten Umfangs sich entwickelnde Zweige der Wissenschaft alsbald Pflege und Unterstützung fanden. So darf Leipzig sich rühmen, die einzige Universität Deutschlands zu sein, an welcher unsere Wissenschaft, die Chemie der Zukunft, wie sie von berufenster Seite genannt worden ist, ein selbständiges Heim

besitzt. Es ist aber das einzige, und selbst der Forscher, dessen Namen ich Ihnen in dieser Stunde häufiger, als jeden anderen zu nennen Anlaß gehabt habe, muß, um seine bahnbrechenden Arbeiten auszuführen, noch immer die, freilich gern gewährte Gastfreundschaft seiner Freunde in Anspruch nehmen. (7)

Als vor 60 Jahren Justus Liebig unter unsäglichen Mühen das erste chemische Unterrichtslaboratorium gründete, dauerte es lange genug, bis seine Anregung auf fruchtbaren Boden fiel und der unbegrenzte Segen solcher Anstalten allgemeiner eingesehen wurde. In Deutschland geschah dies zuerst, und noch heute ist Deutschland allen anderen Kulturländern in bezug auf den chemischen Unterricht und die chemische Forschung überlegen. Heute ist die Sachlage eine ähnliche. Ein wissenschaftliches Afrika liegt vor uns, jedem zugänglich. Forscher aller Nationen machen kühne und glückliche Züge in die unbekannten Länder und keiner ist ohne Schätze aller Art zurückgekehrt. Aber in dem friedlichen Wettkampf um die Vorherrschaft in dem neuen Erdteil wird dem Volke die Palme zufallen, welches zuerst die regelmäßige Kolonialarbeit organisiert. Es ist keinem Zweifel unterworfen, daß die großen und grundlegenden Entdeckungen in keinerlei bestimmtem Verhältnis mit den äußeren Hilfsmitteln stehen; so sind denn auch diejenigen, von denen hier die Rede war, zum Teil unter recht ungünstigen Verhältnissen gemacht worden. Aber nachdem die Hauptsachen festgestellt sind, bedarf es vielseitigster unablässiger Arbeit, um sie überall dort nutzbar zu machen, wohin ihre Tragweite reicht, und diese Arbeit ist in der Tat, wie es das Beispiel der organischen Chemie gezeigt hat, von den äußeren Hilfsmitteln in hohem Maße abhängig.

Es sind nicht nur die hohen Staatsregierungen, unter deren tätiger Sorgfalt die deutschen Hochschulen gedeihen, an welche dieser Ruf gerichtet ist. Den Kollegen im Lehramt, von deren Gutachten die Entwicklung des Hochschulwesens in so hohem Maße abhängt, möchte ich unsere Bitte um Licht und Luft

zur Arbeit nicht minder dringend an das Herz legen. Und noch ein drittes. Es ist einigermaßen befremdlich, daß bei all dem Stolz und der Freude, mit welcher jeder Deutsche den blühenden Zustand unserer Hochschulen preist, denselben so selten aus den weiteren Kreisen der Nation eine tatkräftige Unterstützung zu Teil wird. Welche Summen werden in unseren Nachbarländern Frankreich und England von Privaten den wissenschaftlichen Anstalten zur Hebung der wissenschaftlichen Arbeit dargeboten! Und diese Summen werden noch weit übertroffen von denen, welche in dem als materialistisch verschrieenen Amerika aus denselben Quellen fließen. In Deutschland dürfen wir zwar mit warmem Dank so mancher großherzigen wissenschaftlichen Stiftung gedenken, aber Zahl und Betrag derselben stehen doch nicht im Verhältnis zu denen in den genannten Ländern. Hier ist einmal Gelegenheit zu einem Werke geboten, das in gleichem Maße national wie weltbürgerlich ist. National, weil es Deutschland das Glück erfolgreicher wissenschaftlicher Arbeit zuwendet, und weltbürgerlich, weil die Früchte dieser Arbeit allen zum Nutzen gedeihen. (8)



3

FORTSCHRITTE DER PHYSIKALISCHEN CHEMIE IN DEN LETZTEN JAHREN

(Vortrag, gehalten in der vereinigten Abteilung für Physik und Chemie der 64. Versammlung Deutscher Naturforscher und Ärzte zu Halle am 24. Sept. 1891.)

Während ihrer Entwicklung aus einer beschreibenden Wissenschaft in eine rationelle hat die Chemie in ziemlich regelmäßigem Wechsel Perioden vorwiegend spezieller und solche vorwiegend allgemeiner Interessen gehabt. Und zwar zeigt es sich regelmäßig, daß, während die Anhäufung des empirischen Schatzes in stetiger, ruhiger und selten durch schnell erledigte Meinungsverschiedenheiten gestörter Arbeit vor sich geht, umgekehrt, wenn zum Zweck rationeller Beherrschung und Vereinheitlichung dieses Materials umfassendere Gedanken zutage gefördert werden, diese nur in seltensten Fällen alsbald einer wohlwollenden Aufnahme sich erfreuen. Vielmehr ist ein mehr oder weniger heftiger Widerspruch fast immer die Reaktion, welche solche Dinge zunächst hervorrufen und deren Niederschlag auf dem Filter der literarischen Dokumente der Zeit aufgesucht werden muß, während uns jetzt nur das klare Filtrat des reinen Ergebnisses in den Lehrbüchern vor Augen kommt. Diese Erscheinung ist kaum je heftiger aufgetreten als beim Sturze der Phlogistontheorie; die Zeitschriften und Bücher aus dem letzten Jahrzehnt des vorigen Jahrhunderts hallen wieder von dem Streite der Parteien,

und oft genug müssen die moralischen Qualitäten der Neuerer herhalten, wenn die Gegengründe fadenscheinig werden; worauf denn freilich die Angegriffenen eine entsprechende Antwort nicht schuldig bleiben. Nur langsam verstummt der Kampf der Geister, bis alles friedlich und einträchtig im neuen Gebiet beisammen wohnt. Gleiches haben wir beim Übergang der elektrochemischen Theorie in die Substitutionstheorie, beim Übergang aus dem Äquivalent- in den Molekularbegriff, bei der Umwandlung der Radikal- in die Typen- und Strukturtheorie erfahren. Und auch den Jüngeren unter uns sind die wuchtigen Kolbenschläge in Erinnerung, mit welchen die Idee von der räumlichen Anordnung der Atome in der Molekel, die heute so viele Forscher erfüllt, bei ihrem ersten Auftreten begrüßt wurde.

Es ist also ein blutiger Boden, dessen gegenwärtigen Zustand ich Ihnen heute zu schildern unternommen habe. Fürchten Sie nicht, daß ich den Lärm des Kampfes in diese Stunde friedlichen Rück- und Vorblickes hineintragen werde. Vielmehr habe ich diese Vorerinnerung gemacht, um in Ihnen das Bewußtsein wachzurufen, daß der Kampf, welcher auch in den letzten Jahren in der allgemeinen Chemie nicht gefehlt hat, keine abnorme, etwa durch eine ungewöhnliche Schlechtigkeit der neu aufgetretenen allgemeinen Ideen oder ihrer Vertreter hervorgerufene Erscheinung ist, sondern, daß es sich nur um die normalen Geburtswehen handelt, welche das Zurweltkommen erheblicherer allgemeiner Gedanken unweigerlich begleitet.

Ehe aber im Zusammenhange auf diese neueren und neuesten Dinge eingegangen werden soll, wird es am Platze sein, einen kurzen Rückblick auf die heutige Entwicklung derjenigen Gebiete zu werfen, in welchen der Fortschritt bereits einen stetigen Charakter angenommen hat.

Was zunächst die Atomgewichte anlangt, so sind die seit einigen Jahren von amerikanischen und englischen Forschern, wie Cooke und Richards, Morley, Lord Rayleigh, Noyes,

Dittmar u. a. aufgenommenen Untersuchungen über das Verhältnis zwischen Sauerstoff und Wasserstoff noch nicht zum Abschluß gebracht worden. Während die meisten Bestimmungen dahin übereinkamen, daß das Verhältnis der Atomgewichte beider Elemente wie 1:15,87, also um 0,8 Prozent von dem früher angenommenen Wert 1:16,00 verschieden sei, hat Keiser mittelst einer gut ausgedachten Methode zuerst 15,945 gefunden, während er in jüngster Zeit gar angegeben hat, daß die wahrscheinlichste Zahl die alte 1:16,00 sei. Es ist bemerkenswert, daß die Anstrengungen so vieler Forscher, diese fundamentale Konstante auf ein Promille sicherzustellen, noch keinen allgemein anerkannten Erfolg gehabt haben.

Im Anschlusse hieran sind die Diskussionen zu erwähnen, welche über die Frage nach der rechnerischen Einheit der Atomgewichte, ob O = 16,00 oder 15,96 zu setzen sei, geführt worden sind. Es ist hier nicht der Ort, die beiderseits angeführten Gründe zu prüfen. Vielleicht ist es möglich, bei der jetzigen strafferen Organisation unserer Gesellschaft eine Kommission zu bilden, welche die Frage einer allseitigen Erörterung unterzieht und durch ihre Zusammensetzung mit hinreichender Autorität ausgestattet ist, daß ihre Beschlüsse Aussicht haben, von der Allgemeinheit angenommen zu werden. (9)

Die Frage nach dem Zusammenhang und der Bedeutung der Zahlenwerte der Atomgewichte hat seit den grundlegenden Arbeiten von L. Meyer und Mendelejeff keinen Fortschritt erfahren, der sich als irgend erheblich erwiesen hätte. Zwar brechen die Spekulationen in der durch die Annahme einer Zusammengesetztheit der Elemente angedeuteten Richtung nicht ab, doch wüßte ich keine zu nennen, der ich in bezug auf ihr Wachsen und Gedeihen eine günstige Prognose zu stellen wagte. Wolh aber hat die stetige Arbeit an der Revision der Zahlenwerte der Atomgewichte ihren stetigen Fortgang genommen — ich erinnere nur an den Abschluß der Untersuchungen über die Platinmetalle durch den unermüdlichen

Seubert — und es ist mit großem Dank die Hingabe anzuerkennen, mit welcher diese an sich wenig dankbaren Arbeiten durchgeführt worden sind.

Neue Elemente von Belang sind in letzter Zeit nicht zu verzeichnen; wenn auch im Garten der „seltenen Erden“ manche Blüte emporgeschossen ist, so fehlt es doch bisher an eigentlichen Früchten. (10)

In der Theorie der Gase gehen die Forschungen nach der allgemeinen Zustandsgleichung stetig fort, indem sich die Erkenntnis Bahn bricht, daß der nächste Zugang zur Theorie der Flüssigkeiten notwendig über den kritischen Punkt führt. Die kinetische Hypothese, welche ihrer Zeit mit soviel Sympathie begrüßt wurde und so sorgsame Pflege erfahren hat, erwies sich auch hier im wesentlichen unfruchtbar, indem die beiden Hauptgedanken der Theorie von van der Waals, welcher unzweifelhaft die nächste Zukunft angehört, unabhängig von der kinetischen Hypothese sind. In der Tat bedingt weder die Annahme, daß nur der nicht von der Substanz der Materie erfüllte Raum dem Boyleschen Gesetze folgt, noch die Annahme, daß diese Materie noch etwas Energie der Wechselwirkung besitzt, irgend welche bestimmte Vorstellungen im Sinne der kinetischen Hypothese.

Aus den experimentellen Untersuchungen über diese Beziehungen sind insbesondere die von Ramsay und Young zu nennen. Die von ihnen festgestellte Beziehung, daß innerhalb eines sehr weiten Umfanges $p(v-b)=f(T)$ ist, daß also das Covolum b vom Drucke unabhängig ist, ist eine der wenigen allgemeinen Tatsachen, welche uns zu einer genaueren Kenntnis der allgemeinen Zustandsgleichung führen.

Zum Zwecke einer Lösung der Aufgabe, eine Theorie des Flüssigkeitszustandes zu finden, werden wir uns nach weiteren Eigenschaften umzusehen haben, welche sich hier möglichst einfachen Gesetzen unterworfen zeigen. Solche sind bisher nur wenige bekannt geworden, und wohl noch weniger

in diesem Sinne in Betracht gezogen. Außer dem oben erwähnten von Ramsay und Young beansprucht unsere Aufmerksamkeit ein von dem ungarischen Forscher Eötvös erhaltenes Ergebnis, wonach die molekulare Oberflächenenergie, wie sie durch das Produkt der Kapillarkonstante mit der $^2/_3$ten Potenz des Molekularvolums ausgedrückt ist, sich als eine lineare Funktion der Temperatur erweist. Da die Oberflächenenergie im engsten Zusammenhange mit der Energie der Wechselwirkung steht, vermöge deren die Substanz der Flüssigkeiten im Gegensatz zu der der Gase ein eigenes Volumen annimmt, und welche demnach das charakteristische Wesen des Flüssigkeitszustandes bedingt, so ist alsbald ersichtlich, daß hier allerdings ein Zugang zur Theorie des letzteren gegeben ist, welcher vermutlich schneller zum Ziele führen wird, als die bisher fast ausschließlich versuchten Wege über das Verhältnis zwischen Volum, Temperatur und Druck. (11)

Die von unserem Hermann Kopp begründete Stöchiometrie der organischen flüssigen Verbindungen hat sich gleichfalls einer stetigen Pflege zu erfreuen gehabt. Während die Angelegenheit der Siedepunkte im wesentlichen bis zur Erledigung der allgemeinen Theorie der Flüssigkeiten vertagt erscheint, ist die des Molekularvolumens in ein Stadium getreten, welches eine neue folgenreiche Entwicklungsstufe schon jetzt übersehen läßt. Das von Kopp als erste Annäherung gegebene additive Schema, wonach das Molekularvolumen die Summe der Atomvolumen ist, ein Schema, dessen Unzulänglichkeit Kopp selbst im Falle des Sauerstoffes nachgewiesen hatte, bestimmt nur die gröbsten Umrisse der fraglichen Erscheinung. Überall machen noch andere Einflüsse sich geltend, und wie Kopp am Sauerstoff gezeigt hat, daß der von diesem bedingte Anteil am Molekularvolumen je nach der Funktion dieses Elementes in der Verbindung, also je nach der Konstitution der Molekel, verschiedene Werte annehmen kann, so gilt dasselbe auch für die anderen Elemente. Ein wesentlicher Unterschied

zwischen ein- und mehrwertigen Elementen ist in dieser Beziehung nicht vorhanden: Äthylen- und Äthylidenchlorid haben, trotzdem sie gesättigten Kohlenstoff und außerdem nur einwertige Elemente enthalten, verschiedene Molekularvolumen.

Somit haben wir das Molekularvolumen in höherem Maße als es bisher geschah, als eine konstitutive Eigenschaft anzuerkennen. Diese Erkenntnis beseitigt auf einmal die starre Schranke, zu welcher, sehr gegen den Willen seines Urhebers, das additive Schema sich verhärtet hatte. Vergeblich hat man sich solange bemüht, die Tatsachen in diese Form zu zwängen; immer wieder und überall wollte ihr lebendiger Leib nicht auf das hölzerne Kreuz passen. Jetzt sehen wir ein, daß das Unternehmen vergeblich sein mußte: wir fangen an zu begreifen, daß Methylälkohol vom Äthylalkohol mehr verschieden sein muß, als Äthylalkohol von Propylalkohol und letztere wieder in einem anderen Verhältnis stehen, als Propylalkohol und Butylalkohol, obwohl jedesmal der „gleiche" Unterschied von CH_2 vorliegt, daß es, kurz gesagt, überhaupt nicht zwei Paare von Verbindungen gibt, deren Verschiedenheit völlig dieselbe wäre.

Es ist nun ganz von der Natur der betrachteten Eigenschaft abhängig, in welchem Verhältnis die additive Grundlage und deren konstitutive Abänderung stehen. Bei den Molekularvolumen ist erstere verhältnismäßig vorherrschend, bei den Siedepunkten hingegen machen sich letztere schon der rohesten Beobachtung gegenüber so energisch geltend, daß seit den vor 50 Jahren bereits verunglückten Versuchen von Schröder, Löwig u. a., das additive Schema bei den Siedepunkten organischer Verbindungen durchzuführen, diese Gedankenreihe definitiv aufgegeben worden ist. Die übrigen bisher in Betracht gezogenen Eigenschaften fallen zwischen beide Grenzen.

Dies gilt insbesondere für die Molekularrefraktion. Ebenso wie früher Buff nachgewiesen hatte, daß „doppelt gebundener" Kohlenstoff ein größeres Molekularvolumen besitzt

als gesättigter, ist bekanntlich von Brühl gezeigt worden, daß ähnliches bei der Molekularrefraktion stattfindet. Indessen ist dieser konstitutive Einfluß nicht der einzige, vielmehr haben sich ähnliche Einflüsse beim Sauerstoff und Chlor nachweisen lassen und wiederum zeigt sich, daß, wenn auch leidlich angenäherte additive Gesetze sich für die höheren Glieder der homologen Reihen aufstellen lassen, diese doch für die ersten Glieder versagen. Es ist dies notwendig so, wie das schon bei der Erörterung der Molekularvolumen nachgewiesen worden ist.

Eine Eigenschaft von viel ausgezeichneterer konstitutiver Beschaffenheit als das Molekularvolumen und die Molekularrefraktion ist das magnetische Drehvermögen. Wir besitzen über dasselbe sehr ausgezeichnete Untersuchungen von Perkin, welche sich vielfach nützlich zur Aufstellung von Konstitutionsfragen gezeigt haben.

In bezug auf den Zusammenhang zwischen den verschiedenen Eigenschaften der Stoffe ist von Philipp Guye eine fruchtbare Gedankenreihe durchgeführt worden. Aus seinen, durch die glänzenden Experimentaluntersuchungen von Hertz endlich fruchtbar gemachten, weitreichenden, spekulativen Untersuchungen, die eine vollständige Analogie des mathematischen Ausdruckes für elektrodynamische und optische Fernwirkungen nebst einer annähernden Gleichheit der maßgebenden Konstanten ergeben hatten, hatte bekanntlich Maxwell eine bestimmte Beziehung zwischen dem Berechnungskoeffizienten und der Dielektrizitätskonstante abgeleitet. Letztere ist ihrerseits nach einem von Clausius gegebenen Ausdruck eine einfache Funktion des Bruchteiles vom Gesamtvolum eines Dielektrikums, welcher von der (leitend gedachten) eigentlichen materiellen Substanz eingenommen wird. Dieses sogenannte wahre Molekularvolum aber endlich ist nichts als das Covolum in der Gleichung von van der Waals. Es ist demnach ein enger Zusammenhang zwischen den kritischen Konstanten und dem molekularen

Refraktionsvermögen zu erwarten und Guye hat gezeigt, daß der zu erwartende Zusammenhang wirklich besteht.

Die Spektralanalyse hat, nachdem sie jahrelang zwar mannigfaltige Anwendungen, aber kaum irgendwelche rationelle Vertiefung gefunden hatte, in neuester Zeit einen vielversprechenden Aufschwung in stöchiochemischer Richtung genommen. Die theoretischen und experimentellen Forschungen von Balmer, Deslandres, Julius, Rydberg, Kayser und Runge und anderen lassen schon jetzt erkennen, daß die Zeit, wo es auf diesem bisher von üppig ins Kraut schießenden Hypothesen überwuchertem Gebiete einfache und anschauliche Gesetzmäßigkeiten geben wird, nicht mehr ferne ist. Nur auf einen Punkt möchte ich bei dieser Gelegenheit als Chemiker die Physiker aufmerksam machen. Es gilt als ein unzweifelhaftes Dogma, daß bei den höchsten Temperaturen, wie z. B. im elektrischen Flammenbogen, alle Verbindungen in ihre Elemente dissoziiert sein müßten und alle Spektra, die wir hier beobachten, solche von Elementen seien. Diese Anschauung ist völlig unberechtigt. Was wir über die Beständigkeit der Verbindungen wissen, ist vielmehr das, daß alle Verbindungen, welche unter Wärmeabsorption entstehen, mit steigender Temperatur beständiger werden, und umgekehrt. Weil die Mehrzahl der uns bekannten Verbindungen sich aus den Elementen unter Wärmeentwicklung bildet und demgemäß bei steigender Temperatur unbeständiger wird, so hat sich die Vorstellung festgesetzt, es sei dies allgemein der Fall. Denkt man aber daran, daß Cyan und Acetylen, zwei unter starkem Energieverbrauch sich bildende Verbindungen, sich leicht und reichlich bei den höchsten Temperaturen im Eisenhochofen und im Davyschen Flammenbogen bilden, so wird man sich dessen bewußt, daß die bei hohen Temperaturen auftretenden Spektra unter Umständen Verbindungen angehören können, die, unter starkem Energieverbrauch entstehend, überhaupt nur bei jenen Temperaturen eine vorübergehende Existenz haben. Unter diesem Gesichtspunkte würden manche schwierige

Tatsachen der Spektroskopie und Spektrometrie Aussicht auf sachgemäße Deutung haben.

An der äußersten Grenze der optischen Eigenschaften nach der Seite des konstitutiven Charakters stehen endlich Farbe und Drehung der Polarisationsebene. Obwohl die erstere Eigenschaft bestimmend für einen der wichtigsten Teile der chemischen Praxis, die Farbstoffindustrie, ist, so weiß man bisher über den Zusammenhang der Zusammensetzung und Konstitution mit der Farbe nur wenig. Die Forschungen von Krüss, Liebermann und neuerdings von Vogel lassen sich alle dahin deuten, daß es sich um eine in hohem Maße konstitutive Eigenschaft handelt, die nur innerhalb des engsten Kreises der nächsten Verwandten sich additiv zu werden entschließt. Demgemäß ist natürlich die Erkenntnis der vorhandenen Beziehungen sehr erschwert. Umgekehrt wird aber späterhin, eben wegen dieser ausgeprägt konstitutiven Beschaffenheit, die Farbe ein wichtiges Mittel zur Bestimmung der Konstitution werden; gleichzeitig wird, wenn man erst den Zusammenhang mit einiger Sicherheit erkennen gelernt hat, die Auffindung neuer Farbstoffe von bestimmten Eigenschaften nicht mehr Sache einer glücklichen Hand und eines unbewußten Gefühls für diesen Zusammenhang sein, sondern auf ebenso breiter wissenschaftlicher Basis stehen, wie z. B. die Technik der metallurgischen Prozesse.

Der konstitutive Charakter des optischen Drehvermögens ist von jeher bekannt und anerkannt gewesen. Seitdem vor 12 Jahren van't Hoff und Le Bel den Zusammenhang zwischen dieser Eigenschaft und dem Vorhandensein eines „asymmetrischen", d. h. mit vier verschiedenen Elementen oder Gruppen verbundenen Kohlenstoffs aufgewiesen hatten, ist diese Idee, anfangs langsam, später schneller und schneller, zu bedeutender Entwicklung gelangt. Für die von Pasteur an den Weinsäuren nachgewiesene, „optische Symmetrie" sind die Beispiele immer zahlreicher geworden; insbesondere haben die Forschungen

Wallachs über die ätherischen Öle hierzu wertvolles Material geliefert. Gegenwärtig gilt das Vorhandensein optischer Aktivität als ein ganz unzweifelhafter Nachweis für das Vorhandensein von asymmetrischem Kohlenstoff, und in neuester Zeit gab Le Bel an, daß ihm auch die Herstellung optisch aktiver Stickstoffverbindungen mit asymmetrischem Stickstoffatom gelungen sei.

Der schon vorher genannte Forscher Ph. Guye hat einen bemerkenswerten Versuch gemacht, auch für die Zahlenwerte des molekularen Drehvermögens Gesetze zu finden, indem er für die Asymmetrie des Kohlenstoffatoms ein von den an demselben haftenden Massen abhängiges numerisches Maß aufstellte und dieses bei analogen Verbindungen mit dem Werte der molekularen Verbindungen verglich. Während seine Darlegungen durch eine Anzahl älterer Messungen, namentlich diejenigen Pictets an den Weinsäureestern, gut unterstützt werden, haben seine eigenen, auf diesen Punkt gerichteten Untersuchungen an den aktiven Amylderivaten die Angelegenheit in experimenteller Hinsicht allerdings nur wenig gefördert. Er hat die Schwierigkeiten, die der Erlangung reinen Materials entgegenstehen, nicht überwunden; auch haben sich Widersprüche gegen die Annahme gezeigt, daß die belastenden Massen den Sinn der Asymmetrie bedingen. Diese Schwierigkeit wird sich voraussichtlich in dem Sinne erledigen, daß das optische Moment, wenn mir dieser Ausdruck gestattet wird, nicht einfach der Masse des Atoms proportional gesetzt wird; vielmehr ist ein Zusammenhang mit der Atomrefraktion zu vermuten.

Wir wenden uns nun zu einem Gebiet, dessen Entwicklung ganz eigentlich den letzten Jahren angehört, dem der Lösungen. Wenn wir uns des alten Chemikerausspruches errinnern: *corpora non agunt nisi fluida, vel soluta,* so übersehen wir mit einem Blick die ungeheure Bedeutung des Gebietes; jeder rationellen Kenntnis des chemischen Vorganges muß eine entsprechende Kenntnis des Zustandes der gelösten Stoffe vorausgehen.

Ich brauche nicht erst daran zu erinnern, daß als größter Fortschritt, welcher bisher überhaupt auf diesem Gebiete gemacht worden ist, van't Hoffs Entdeckung der Gleichheit der Gasgesetze mit denen der gelösten Stoffe zu bezeichnen ist. Überlegen wir, daß die Entwicklung des gegenwärtig die Chemie beherrschenden Molekularbegriffes ganz entscheidend durch die Gasgesetze in ihrer einfachen Gestalt bedingt worden ist, so erkennen wir alsbald, daß alle die wichtigen Beziehungen, welche hier gefunden worden sind, sich unmittelbar auf das Gebiet der Lösungen übertragen lassen. Letzteres aber ist gleichzeitig ungemein viel mannigfaltiger in der Form der möglichen Erscheinungen; während bei Gasen von den Veränderlichen: Druck, Volumen und Temperatur, nur zwei unabhängig sind, hat man bei Lösungen die mehrfache Unendlichkeit der nicht mischbaren und der teilweise mischbaren Lösungsmittel. Hierdurch wird bedingt, daß selbst unter der Voraussetzung der einfachsten Gestalt der obwaltenden Gesetze eine Fülle neuer formaler wie numerischer Beziehungen bei den Lösungen auftritt, wodurch der Forschung ein äußerst dankbares Gebiet von nicht zu erschöpfender Fruchtbarkeit zugänglich gemacht worden ist. In der Tat haben nach dem Vorgange von van't Hoff die Untersuchungen von Planck, Riecke, Lorenz, van der Waals, Boltzmann auf theoretischem Gebiete, sowie die von Nernst in förderlicher Vereinigung von Theorie und Versuch gezeigt, wie mannigfaltig und wertvoll die hier zu erntenden Früchte sind, auf deren Einzelheiten einzugehen ich mir leider versagen muß.

Auf einen besonderen Punkt möchte ich bei dieser Gelegenheit aufmerksam machen. Schon früher habe ich darauf hingewiesen, daß der Weg zur rationellen Theorie des Flüssigkeitszustandes von den Gasen aus durch die Abweichungen derselben von den einfachsten Gesetzen über den kritischen Punkt führt, dessen Konstanten in besonders einfacher Weise die individuellen Eigenschaften der fraglichen Art Materie zum

Ausdruck bringen. Nun ist aus der Theorie der Lösungen zu erwarten, und von O. Masson und W. Ramsay auch ausführlich nachgewiesen worden, daß wir beim Übergange von einer verdünnten zu einer konzentrierten Lösung ganz dieselben Erscheinungen beobachten, wie bei der Volumverminderung eines Gases; auch hier gibt es einen kritischen Zustand mit den entsprechenden Konstanten. Hier ist also ein zweiter Weg zur Theorie des Zustandes der reinen Flüssigkeiten gegeben, der allerdings wegen der viel größeren Mannigfaltigkeit der Erscheinungen ganz erheblich schwieriger gangbar ist, als jener erstgenannte, aber doch in vielen Fällen Aufklärung bieten kann, wo jener versagt.

Während die bisher erörterten Teile des neu erschlossenen Gebietes vorwiegend die Aufgaben betreffen, denen sich bisher der Physiker gewidmet hatte, hat sich dasselbe nicht weniger ersprießlich für die spezielle Chemie, insbesondere die organische, gezeigt. Der oben erwähnten Mannigfaltigkeit der hier vorhandenen Beziehungen entspricht eine ebenso große Mannigfaltigkeit der Methoden, die so überaus wichtige Konstante, das sogenannte Molekulargewicht, der gelösten Stoffe zu bestimmen. Nachdem der unermüdliche Raoult schon seit Jahren auf rein empirischem Wege die Anwendbarkeit der Eigenschaften der Lösungen für diesen Zweck nachgewiesen hatte, war es doch der Theorie van't Hoffs vorbehalten, die rationelle Grundlage dieser Beziehungen aufzudecken, und damit erst den weiteren Kreisen der Forscher das Gefühl der Sicherheit bei der Anwendung solcher Molekulargewichtsbestimmungen zu geben. Um die technische Ausbildung der Methoden hat sich E. Beckmann besondere Verdienste erworben und der Beckmannsche Gefrier- und Siedeapparat bildet gegenwärtig einen ebenso notwendigen und viel benutzten Bestandteil der Laboratoriumsausrüstung, wie etwa der Hofmannsche Dampfdichteapparat.

Es konnte nicht fehlen, daß durch den plötzlich so riesig gewachsenen Umfang der Molekulargewichtsbestimmungen auch

unsere Anschauung von der Beschaffenheit dieser Größe und der damit zusammenhängenden Valenz eine entsprechende Wandlung erfuhr. Der Begriff war allmählich etwas dogmatisch verknöchert; man faßte ihn so auf, als käme jedem Stoff nur ein einziges, absolutes Molekulargewicht zu, indem man die vorhandenen Abweichungen, z. B. bei der Essigsäure, als Anomalien bezeichnete. Die Molekulargewichtsbestimmungen an Lösungen zeigten nun, daß derartige Abweichungen so verbreitet und gleichzeitig so gesetzmäßig sind, daß man sie wohl nicht mehr als Anomalien bei Seite schieben kann. Gegenwärtig wird man daher im allgemeinen anerkennen, daß ein Stoff ganz wohl verschiedene Molekulargrößen haben kann, die im Verhältnisse einfacher Multiplen stehen; das für den Chemiker wichtigste Molekulargewicht ist allerdings das kleinste von ihnen.

So wichtig und weitgreifend die Folgen waren, welche sich an die Entdeckung von van't Hoff knüpften, so haben dieselben doch im allgemeinen eine ziemlich freundliche Aufnahme gefunden, indem nur wenige Forscher — nicht ersten Ranges — welche die von ihnen gepflegten Pflänzchen durch die Fülle des Lichtes, das auf sie fiel, für gefährdet erachteten, einen bald beseitigten Widerstand versuchten. Dagegen hat sich all das Mißbehagen, welches sich unvermeidlich an erhebliche Umwälzungen knüpft, gegen eine zweite Idee gerichtet, welche etwas später als die von van't Hoff auftretend, eine fundamentale Schwierigkeit in der Theorie der Lösungen, welche seinerzeit mir selbst ihre Annahme unmöglich machte, beseitigte, und gleichzeitig sich als ein Forschungsmittel von einer geradezu beispiellosen Ausgiebigkeit bewährte. Es ist dies die Theorie der elektrolytischen Dissoziation von Arrhenius.

Der Grundgedanke dieser Theorie, nach welcher bei den Elektrolyten, den Salzen, Säuren und Basen in wäßrigen Lösungen ein mehr oder weniger großer Anteil der Molekeln in elektrisch geladene Anteile oder Ionen zerfallen ist, welche

innerhalb der Lösung in ähnlicher Weise voneinander unabhängig sind, wie die Teilmolekeln eines dissoziierten Gases, ist wohl als allgemein bekannt vorauszusetzen. Gibt man die Theorie von van't Hoff zu, so muß man zugeben, daß in einer Lösung von Chlornatrium z. B. fast doppelt so viele individuelle Teilchen oder Molekeln vorhanden sind, als in einer dem Formelgewicht entsprechenden Lösung von Zucker oder Harnstoff. Der von Arrhenius zuerst aufgedeckte erfahrungsmäßige Zusammenhang dieser Abweichungen mit der Tatsache und Größe der elektrolytischen Leitfähigkeit, welcher nicht geleugnet werden kann, begründet den zweiten Teil der Theorie von Arrhenius, die Annahme elektrischer Ladungen an den Teilmolekeln oder Ionen. Sind aber diese Grundlagen erst zugestanden, so folgt alles übrige mit unmittelbar ersichtlicher Notwendigkeit. (12)

Die Bedeutung dieser Anschauungen wird durch den ganz erstaunlichen Umfang der Erscheinungen aus den verschiedensten Gebieten klargelegt, welche durch die Theorie von Arrhenius im Verein mit der von van't Hoff Aufklärung erhalten haben. Es ist in dem mir zugewiesenen Rahmen einfach unmöglich, auch nur eine Aufzählung dieser einzelnen Anwendungen vorzunehmen; ich glaube daher meiner Aufgabe am besten gerecht zu werden, wenn ich die Frage von einem allgemeineren Standpunkte aus erörtere, und ohne das einzelne bisher Geleistete zu erwähnen, in großen Zügen die Gebiete abstecke, in welche beide Theorien entscheidende Aufklärung gebracht haben oder bringen werden.

Zunächst sei daran erinnert, daß die Gesetze der Dissoziation bereits früher thermodynamisch für Gase allgemein abgeleitet waren. Handelt es sich also bei dem von Arrhenius betrachteten Gebiet um Dissoziation und gelten die Gasgesetze nach van't Hoff für gelöste Stoffe, so muß sich aus der Anwendung jener Dissoziationsgesetze die gesamte Theorie der chemischen Verwandtschaft der Elektro-

lyte ergeben. (13) Dies heißt nichts weniger, als daß das Problem der chemischen Verwandtschaft prinzipiell gelöst ist.

Der Begriff der chemischen Verwandtschaft ist hierbei so weit zu fassen, daß alle durch die sogenannte innere Energie der Stoffe bedingten Erscheinungen zu ihr gehören. Also nicht nur die speziell chemisch genannten Vorgänge, sondern auch die der Verdampfung und Lösung ohne Ausnahme gehören hierher; will man bei letzteren den immerfort betonten, aber stets unklar gebliebenen Unterschied zwischen „physikalischen" und „chemischen" Vorgängen durchführen, so kann man zu letzteren diejenigen Vorgänge rechnen, bei welchen elektrolytische Dissoziation in Frage kommt, und zu ersteren die, bei welchen es nicht der Fall ist; so ist die Auflösung des Sauerstoffes in Wasser in diesem Sinne ein „physikalischer", die des Chlorwasserstoffes in Wasser ein „chemischer" Vorgang. Aber dieser Unterschied ist sekundär; er spricht sich nur in der größeren Verwicklung der entsprechenden Formeln aus; die Grundgleichungen bleiben überall dieselben. Es handelt sich mit anderen Worten um die Theorie sämtlicher Zustände, wobei heterogene Stoffe oder heterogene Phasen desselben Stoffes sich nach wechselseitiger Beeinflußung in einen von Zeit unabhängigen oder Gleichgewichtszustand begeben haben.

Die allgemeine Theorie dieser Zustände ist durch J. Willard Gibbs bereits vor 16 Jahren entwickelt worden; eine deutsche Ausgabe dieser genialen und unglaublich vielseitigen Untersuchungen ist soeben unter der Presse. Durch van't Hoff und Arrhenius sind wir in den Stand gesetzt, in die Gleichungen dieses Forschers, welche notwendig eine Anzahl noch unbekannter Funktionen enthielten, die Ausdrücke dieser Funktionen nebst den numerischen Konstanten einzuführen, und somit das Problem von Fall zu Fall auch numerisch zu lösen.

Freilich darf nicht vergessen werden, daß die fraglichen Funktionen, welche sich als der Ausdruck der gesamten Energie des betrachteten Gebildes als Summe der einzelnen Formen

desselben darstellen, nur für den Fall der Gase und verdünnten Lösungen, also für den Fall, daß die innere Energie unabhängig vom Volum geworden ist, bekannt sind. Soweit die Kenntnis der „Zustandsgleichung" reicht, reicht die Möglichkeit, die heterogenen Zustände und chemischen Gleichgewichte zu bewältigen. Und wir sehen an dieser Stelle, wie sich die verschiedenen Gebiete der allgemeinen Chemie die Hand reichen; die Lösung der Probleme, welche im ersten Teile dieser Darlegungen zur Besprechung gelangten, bedeutet auch für den eben erörterten die unumgängliche Bedingung des Fortschrittes.

Aber mit dem eben abgesteckten Umfange, so groß er auch ist, ist der Bereich der van't Hoff-Arrheniusschen Theorie noch nicht zu Ende. Die von Arrhenius entdeckte Dissoziation ist eine elektrolytische. Somit gehört die unermeßliche Zahl der Erscheinungen, an denen sich die elektrisch geladenen Ionen beteiligen, ebenfalls zu denen, die von hier aus ein neues Licht empfangen. Die Frage nach der Erregung und Unterhaltung der elektrischen Energie in den galvanischen Elementen, nach der Stromleitung in den Elektrolyten, nach dem Wesen der galvanischen Polarisation sind nur einzelne Punkte dieses Gebietes. Die Elektrochemie im weitesten Sinne, und zwar sowohl der Teil, welcher wesentlich elektrische Fragen, wie auch der, welcher wesentlich chemische Fragen zum Gegenstande hat, alle haben von unserer Theorie aus entweder bereits die erheblichste Förderung empfangen oder sie haben sie zu erwarten.

Es ist natürlich, dieser Auseinandersetzung gegenüber, die Frage aufzuwerfen, in welcher Weise die Theorie von van't Hoff und Arrhenius den Anforderungen gerecht geworden ist, welche in so außerordentlich umfassender und mannigfaltiger Weise an sie gestellt worden sind. Da ich selbst zu den Wenigen gehöre, welche sich dieses Hilfsmittels bei ihren Forschungen bedienen, so muß ich freilich zugestehen, daß

mein Urteil in dieser Sache als ein subjektives angesehen werden kann; da ich aber andrerseits beiden Theorien gegenüber leider nicht die Stellung des Vaters, sondern nur die eines Onkels von ziemlich entfernter Verwandtschaft einnehme, dürfen Sie mir zutrauen, daß ich zu der Zeit, wo mir dieselben zuerst entgegentraten, eher geneigt war, sie abzulehnen, als sie zu begrüßen. Ich kann daher nur zunächst persönlich erklären, daß nie eine zu meinen Lebzeiten erdachte wissenschaftliche Idee mich in dem Maße gefördert hat, wie diese, und daß ich auch weiterhin den Eindruck gewonnen habe, daß die genannten großen Gebiete gleichfalls ungewöhnliche Förderungen durch diese Idee erfahren haben. Insbesondere hat die außerordentlich mannigfaltige und strenge Prüfung, welche in den zahllosen numerischen Konsequenzen der Theorie auf allen möglichen Gebieten liegt, ein solches Maß „guter Noten" ergeben, daß die relativ seltenen Fälle, wo das unbefangene Urteil „ungenügend" lautete, dagegen verschwinden. Freilich dürfen die Urteile solcher, welche ohne genügende Qualifikation sich zu Examinatoren aufwerfen und sich nicht sowohl die Aufgabe stellten, die Theorie zu prüfen, als vielmehr sie zu widerlegen, nicht gerechnet werden; die Mißverständnisse und schiefen Auffassungen, von welchen solche „Widerlegungen" ausgingen, waren in der Tat solcher Art, daß aus den Erörterungen ein wirklicher Fortschritt, welcher doch der Zweck jeder wissenschaftlichen Unternehmung ist, nicht hervorging.

Ich eile zum Schlusse. Der gedrängte Überblick des Arbeitsfeldes der allgemeinen Chemie, welchen ich eben zu geben versucht habe, zeigt, wie sehr sich die Chemie der physikalischen Hilfsmittel bemächtigt hat, um ihre Probleme zu lösen. Es bedarf daher keines besonderen Hinweises für meine chemischen Fachgenossen, daß sie das Studium der Physik pflegen und die erforderlichen mathematischen Hilfsmittel sich aneignen sollen; auch wird an vielen Universitäten

von den weiterschauenden Lehrern der Chemie dafür Sorge getragen, daß unserem jüngeren Nachwuchs dies kostbare Hilfsmittel möglichst zugänglich werde, und meine persönlichen Erfahrungen haben mir gezeigt, daß solche Gelegenheiten gern und mit Erfolg benutzt werden.

Aber umgekehrt sieht es nicht so günstig aus. Auch die Physik bedarf zu ihrer Erweiterung und Vertiefung nach vielen Richtungen eingehender chemischer Kenntnisse. Alle Erscheinungen, bei denen die spezielle Beschaffenheit der Materie in Frage kommt, erfordern zu ihrem Studium eine ausgiebige Kenntnis eben dieser Beschaffenheit, d. h. chemische Kenntnisse. Und hier kann ich nicht umhin, zu klagen, daß in dieser Richtung zu wenig geschieht. In der neueren physikalischen Literatur sind mir nicht selten chemische Anschauungen entgegengetreten, die, kurz gesagt, fürchterlich waren, und die der Deutung der fraglichen Erscheinungen eine ganz verkehrte Richtung gaben. Der Physiker ist nur zu geneigt, die Chemie als eine inferiore Wissenschaft zu betrachten, von der er lange genug weiß, wenn er im Anfang seiner Studienzeit einmal die Vorlesung gehört hat. Nichts kann unzweckmäßiger sein, als solch eine Anschauung. Wegen ihres reicheren und spezielleren Inhaltes bleibt freilich die Chemie in ihrer Entwicklung zur rationellen Wissenschaft hinter der Physik zurück, und wird es ewig bleiben, ebenso wie die Physik hinter der Astronomie oder Mathematik zurückbleibt. Aber gerade aus diesem Grunde ist der Anfang der Studienjahre die einzige Zeit, sich mit den vielfältigen Einzelheiten der chemischen Erscheinungen vertraut zu machen, und die ungeheure Fülle der Anschauungen, die sich hier bieten, aufzunehmen. Denn später lernt es der Physiker erfahrungsgemäß nie. Die Geschichte unserer Wissenschaft weist eine Anzahl von Männern auf, die aus Chemikern Physiker hohen Ranges geworden sind; ich nenne nur Regnault, Faraday, Davy, Magnus, Hittorf. Ich wüßte aber keinen einzigen Forscher

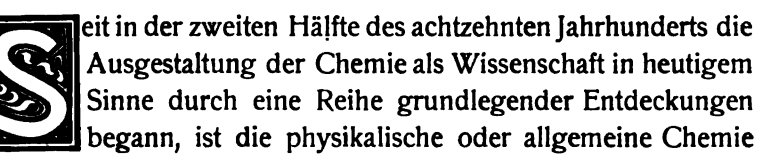
zu nennen, der nach einer Ausbildung als Physiker eine rein chemische Entdeckung von Belang gemacht hätte; denn es kommt überhaupt nicht vor, daß ein Physiker später Chemie lernt. Die große Fülle des Empirisch-Anschaulichen läßt sich dem Gedächtnis nur zu einer Zeit, wo es frisch ist, einverleiben, und wenige Semester nach begonnener Studienzeit pflegt es schon zu spät dazu zu werden.

Ich kann daher meinen physikalischen Kollegen vom Lehramt nicht dringend genug zurufen: Schickt eure Schüler zunächst auf ein paar Semester ins chemische Laboratorium! Wir Chemiker müssen freilich dazu das unsere tun, um den Laboratoriumsunterricht passend umzugestalten; insbesondere werden die Übungen in der qualitativen Analyse stark eingeschränkt und dafür präparative Arbeiten im weitesten Sinne neben den typischen Formen der quantitativen Analyse gepflegt werden müssen. Da aber die gleichen Forderungen an die Ausbildung der künftigen Gymnasial- und Realschullehrer der Naturwissenschaften und Mathematik zu stellen sind, so wird es nicht schwer halten, für die chemische Ausbildung sämtlicher Nichtchemiker bald die geeigneten Formen und Einrichtungen zu finden, ohne den nächsten Zweck der chemischen Unterrichtslaboratorien, die Schulung der Fachchemiker, zu schädigen. (14)

4

DIE PHYSIKALISCHE CHEMIE AUF DEN DEUTSCHEN UNIVERSITÄTEN

(Aus „Die Deutschen Universitäten". Berlin, 1895.)



Seit in der zweiten Hälfte des achtzehnten Jahrhunderts die Ausgestaltung der Chemie als Wissenschaft in heutigem Sinne durch eine Reihe grundlegender Entdeckungen begann, ist die physikalische oder allgemeine Chemie an dieser Entwicklung in entscheidender Weise beteiligt gewesen. Von einer Mitwirkung der deutschen Universitäten kann hierbei freilich kaum die Rede sein, da um jene Zeit an ihnen den Experimentalwissenschaften nur geringe Teilnahme zugewendet wurde; auch gehörte der namhafteste deutsche Forscher, der zu jener Zeit die allgemeine Chemie förderte, J. B. Richter, der Entdecker des Gesetzes der konstanten Verbindungsgewichte, keiner Universität an.

Auch noch in den ersten Jahrzehnten des neunzehnten Jahrhunderts läßt sich nur geringe Mitarbeit an deutschen Hochschulen nachweisen. Vereinzelt steht ein Forscher, wie Döbereiner in Jena, da, welcher als originaler Denker und Experimentator das Gebiet der physikalischen Chemie pflegt.

Unter den großen Entdeckungen und Erfindungen, durch welche Justus Liebig die Chemie gefördert hat, ist eine der folgenreichsten, ja unzweifelhaft die folgenreichste von allen, die Erfindung des chemischen Unterrichtslaboratoriums an der

Universität. Dieser pädagogische Gedanke, der in seiner weiteren Anwendung umgestaltend auf unser Universitätsleben gewirkt hat und noch wirkt, ist der physikalischen Chemie zwar zunächst nicht zugute gekommen. Liebigs Mitarbeiter, Hermann Kopp, der der erste Vertreter der physikalischen Chemie als eines gesonderten Forschungsgebietes zu nennen ist, hat seine vielfältig grundlegenden Arbeiten allein und mit sehr geringen Hilfsmitteln ausgeführt; er hat keinen Laboratoriumsunterricht auf seinem Gebiete erteilt und fast keine Schüler unmittelbar gebildet. Wohl aber haben seine Arbeiten die Richtung angegeben, welche die physikalische Chemie in den nächsten Jahrzehnten genommen hat. Der grundlegende Gedanke von Kopps Forschungen war der, daß zwischen der chemischen Zusammensetzung der Stoffe und ihren physikalischen Eigenschaften ein gesetzmäßiger Zusammenhang bestehen müsse, den aufzudecken er sich auf verschiedenen Gebieten bemühte. So begründete er die Lehre von den Volumverhältnissen der flüssigen organischen Verbindungen, entdeckte die Gesetzmäßigkeit der Siedepunkte homologer Reihen, wobei er als einer der ersten den Begriff der Homologie bei organischen Stoffen klar entwickelte, prüfte, bestätigte und erweiterte die Gesetze von Dulong-Petit und Neumann über die Atom- und Molekularwärmen und anderes mehr. Kopps Tätigkeit an den Universitäten Gießen und Heidelberg bewirkte, daß zu jener Zeit, zwischen den dreißiger und siebenziger Jahren, in welchen die Chemie fast ausschließlich von den Aufgaben der organischen Synthese und Systematik in Anspruch genommen war, die Beschäftigung mit physikalischer Chemie nicht völlig erstarb.

Mit einem gleichstrebenden Forscher ersten Ranges fand Kopp sich in Heidelberg zusammen. Robert Bunsen hatte sich durch seine Jugendarbeit über das Kakodyl mit einem Schlage einen Platz unter den Ersten in der organischen Chemie verschafft, um diese dann auf immer zu verlassen und sich der physikalischen Chemie zuzuwenden. Seine Forschungen über

die Absorption der Gase durch Flüssigkeiten bezeichnen den Anfang einer Reihe von Arbeiten, deren jede gleichbedeutend mit der Eroberung eines neuen Reiches an der Grenze zwischen Physik und Chemie war. Nur an die wichtigsten braucht erinnert zu werden. Die Spektralanalyse, die Photochemie, welche er begründet hat, erstere in Gemeinschaft mit seinem Kollegen Kirchhoff, letztere mit seinem Schüler Roscoe, sind jetzt zwei ausgedehnte Wissenschaften, deren völlige Beherrschung bereits einem Einzelnen schwer fällt. Das Eiskalorimeter, das Dampfkalorimeter, das Bunsensche Photometer, der Bunsensche Brenner, das Bunsensche Element geben in den verschiedensten Gebieten Zeugnis von seinem schöpferischen Geiste in der Schaffung der Hilfsmittel genauer Messung und erfolgreicher Arbeit.

Bunsen hat, obwohl er als Lehrer fast ein halbes Jahrhundert tätig war, nicht im eigentlichen Sinne eine Schule begründet: dazu war seine Arbeitsmethode zu eigenartig. Er konnte nur geistesverwandte Naturen zu ähnlichem Schaffen auf ihren Gebieten anregen, und hat dies reichlich getan.

Von späteren Forschern ist zunächst Landolt zu nennen, der, auf den von Kopp geöffneten Wegen fortschreitend, insbesondere die Hilfsmittel der Optik chemischen Zwecken dienbar machte. Seine Tätigkeit in Bonn, Aachen und Berlin hat nicht nur eigene Forschungen ergeben, sondern er hat auch eine Anzahl von Schülern in seine Gedankenreihen und Forschungsmethoden eingeführt, unter denen insbesondere Brühl, gegenwärtig in Heidelberg, zu nennen ist. Durch Landolts Berufung auf den zweiten Lehrstuhl der Chemie an der Berliner Universität und seine Übernahme des zweiten chemischen Unterrichtslaboratoriums daselbst hat die physikalische Chemie seit 1891 an dieser Universität eine feste Vertretung erlangt.

Schon viel früher, im Jahre 1870, hatte die Universität Leipzig einen Forscher berufen, welcher, als Chemiker beginnend, wie so viele seiner hervorragenden Zeitgenossen, sich durch die physikalische Chemie allmählich der reinen Physik zuwandte:

G. Wiedemann. Als Nachfolger O. L. Erdmanns neben H. Kolbe mit der Vertretung der Chemie betraut, hat er sich vorwiegend der physikalischen Seite dieser Wissenschaft zugewendet, und das von ihm geleitete Laboratorium darf als die älteste chemische Unterrichtsanstalt, nicht nur an deutschen Universitäten, bezeichnet werden, in welchem physikalische Chemie als solche theoretisch wie praktisch gepflegt wurde. Es ist diesem Zwecke auch nach G. Wiedemanns Übergang zur Physik nicht entfremdet worden, nachdem es 1887 an W. Ostwald überging.

Gleichfalls vorwiegend auf dem Gebiete der Elektrochemie wirkte zu jener Zeit W. Hittorf in Münster, dessen Arbeiten zwar nur langsam zur Anerkennung gelangten, dafür aber eine um so tiefere Wirkung ausübten, die sich namentlich in neuester Zeit geltend gemacht hat. Seine Arbeiten über die Wanderungen der Ionen bei der Elektrolyse sind für die Ausbildung klarer Vorstellungen über den Zusammenhang der chemischen Erscheinungen mit den elektrischen maßgebend geworden.

In die Mitte der achtziger Jahre fällt der Beginn eines neuen Zeitabschnittes der physikalischen Chemie. Von verschiedenen Seiten wendete sich die Forschung den lange vernachlässigten Problemen zu, und als äußeres Zeichen dieser wachsenden Teilnahme erschienen zunächst mehrere Lehrbücher, und seit 1887 eine Zeitschrift, die der physikalischen oder allgemeinen Chemie eigens gewidmet waren. Der Herausgeber der letzteren, W. Ostwald, gehörte zwar zu jener Zeit nicht einer Hochschule des Deutschen Reiches an, wohl aber Hochschulen, die in deutscher Sprache lehrend und im Geiste deutscher Wissenschaft geführt, von dieser als ihr zugehörig angesehen werden durften, der Universität zu Dorpat und dem Polytechnikum zu Riga. Seit 1887 ist Ostwald in Leipzig als Nachfolger Wiedemanns tätig, und in jenem ältesten physikalisch-chemischen Laboratorium sammeln sich gegenwärtig zufolge der langen Tradition so zahlreiche Jünger der physikalischen

Chemie, daß die vorhandenen Räume unzulänglich sind, sie alle aufzunehmen.

Unter den deutschen Forschern, deren vorangegangener Arbeit diese gegenwärtige Blüte zu verdanken ist, muß zunächst A. Horstmann erwähnt werden, der in der Anwendung der Thermodynamik auf chemische Vorgänge führend vorangegangen ist und damit eines der wichtigsten und fruchtbarsten Gebiete erschlossen hat. Ferner hat Lothar Meyer in Tübingen als Lehrer wie als Forscher die Bedeutung der physikalischen Chemie in den Zeiten, wo die Systematik der organischen Chemie alle anderen Interessen zu ersticken drohte, den Fachgenossen stets in das Gedächtnis zurückgerufen, so daß seine, zunächst den Zwecken jener Systematik gewidmeten „Theorien der modernen Chemie" lange eines der wenigen Werke gewesen ist, aus welchem die Chemiker ihre Kenntnisse der allgemeinen Chemie zu schöpfen pflegten. Auch Victor Meyer, gegenwärtig in Heidelberg an Bunsens Stelle wirkend, hat, obwohl wesentlich der organischen Chemie zugewendet, glänzende Experimentalforschungen auf unserem Gebiete durchgeführt. Endlich ist F. Stohmann in Leipzig als hervorragender Thermochemiker — der einzige Forscher auf diesem Gebiet in Deutschland — zu erwähnen.

Die physikalische Chemie unserer Tage verwirklicht in hohem Maße das Ideal wissenschaftlicher Völkergemeinschaft. Die gegenwärtig im Vordergrund stehenden Ideen verdankt sie dem Holländer van't Hoff und dem Schweden Arrhenius; die Vertretung dieser Ideen und die Veröffentlichung der entsprechenden Forschungen erfolgt in der in Leipzig herausgegebenen Zeitschrift, und ein Blick in deren Spalten lehrt, daß sie Mitarbeiter in fast allen Kulturländern besitzt. Von anderen deutschen Forschern, die sich um die physikalische Chemie verdient gemacht haben, ist zunächst W. Nernst in Göttingen zu nennen, aus dessen Arbeiten sich gegenwärtig die lange erstrebte Theorie der Voltaschen Ketten entwickelt und der für

die Erscheinungen der Auflösung und der Diffusion wesentliche Aufklärungen gegeben hat. Ferner M. Planck in Berlin, welcher die Thermodynamik der chemischen Vorgänge in mathematisch-theoretischen Forschungen durcharbeitet. Auch H. von Helmholtz hat sich gelegentlich diesem Gebiet zugewendet, und für dasselbe, sowie für die Theorie der galvanischen Elemente hochbedeutsame Arbeiten geliefert. Endlich ist E. Beckmann, gegenwärtig in Erlangen, zu nennen, dessen Bemühungen um die Ausbildung zweckmäßiger Apparate die allgemeine Anwendung der physikalisch-chemischen Methoden in hohem Maße gefördert hat.

Entsprechend der Kürze der Zeit, seit welcher der gegenwärtige Aufschwung der physikalischen Chemie ersichtlich geworden ist, sind zurzeit nur wenige Universitäten mit besonderen Unterrichtsanstalten für dieses Gebiet versehen. Eigene Institute besitzen nur Leipzig und Berlin, doch ist an mehreren anderen Hochschulen, insbesondere in Tübingen, Göttingen, Heidelberg, günstige Gelegenheit zum Studium der physikalischen Chemie vorhanden. (15)

5

CHEMISCHE BETRACHTUNGEN

(Vorgelesen auf dem Internationalen Kongreß für Chemie in Chicago 1895. Deutsch veröffentlicht in „Die Aula" 1895. Nr. 1.)

Während ihrer wissenschaftlichen Entwicklung hat die Chemie die hypothetischen Anschauungen, welche sie zum Aufbau ihres Lehrsystems und zur „Erklärung" ihrer Erscheinungen brauchte, stets aus dem Gebiete derjenigen Nachbarwissenschaft entnommen, welche soeben in ihrem eigenen Gebiete erhebliche Erfolge errungen hatte. Zur Zeit der Blüte der Galileischen Mechanik war die Chemie mechanisch; beispielsweise wurde die lösende Wirkung der Säuren auf Metalle dadurch erklärt, daß man jenen Spitzen und Schneiden zuschrieb, mit deren Hilfe sie die Metalle zerteilen; Stoffe, welche sich verbinden, sollten Haken besitzen, um sich aneinander zu befestigen. Als Newton seine Theorie der astronomischen Bewegungen auf die Annahme einer nach dem umgekehrten Quadrat der Entfernung wirkenden *actio in distans* gründete, zögerte auch die Chemie nicht lange, sich diese Vorstellung anzueignen, und führte alle Vorgänge auf Anziehung und Abstoßung der Massenteilchen zurück. Es ist daher kein Wunder, daß die Erscheinungen der Voltaschen Säule, welche sich ohnedies eng mit den chemischen Vorgängen verbunden zeigten, alsbald benutzt wurden, um Theorien der chemischen Vorgänge darauf zu bauen. Diese Theorien, insbesondere die

von Berzelius, sind lange Zeit herrschend gewesen; schließlich haben sie sich aber ebenso ungenügend gezeigt, die chemischen Erscheinungen darzustellen, wie die mechanische und Anziehungstheorie.

So ist denn die heutige Theorie der chemischen Verbindungen ein seltsames und widerspruchsvolles Konglomerat fossiler Bestandteile aller früheren Theorien. Die hervorragendste Rolle spielen noch die Überreste der Attraktionstheorie; daneben ist viel von positiven und negativen Elementen, den Resten der elektrochemischen Theorie die Rede, und in neuester Zeit sehen wir in der Stereochemie die lang vergessenen mechanischen Vorstellungen wieder in den Vordergrund treten und von vielen als eine neue Blüte der Wissenschaft angesehen werden.

In solchen Zeiten ist es von großem Wert, einerseits sich auf die geschichtliche Entwicklung der Theorien und ihre Vergänglichkeit zu besinnen, andrerseits aus den älteren Theorien das brauchbare und richtige herauszusuchen, um für eine künftige Theorie gutes und bewährtes Baumaterial zu haben.

Vor allen Dingen haben wir aus dem Schicksal der bisherigen Theorien die Lehre zu ziehen, daß die chemischen Erscheinungen aus sich selbst erklärt, d. h. logisch geordnet werden müssen. Die Benutzung von Analogien aus anderen Gebieten der Naturwissenschaft hat zwar oft zu Anschauungen geführt, welche für den Augenblick befriedigend schienen; auf die Dauer haben sich aber solche Analogien stets mehr hemmend als fördernd erwiesen, indem sie die unbefangene Auffassung der Tatsachen beeinträchtigten, und sie mußten (oder müssen in Zukunft) unter großem Widerstande und beträchtlichen Opfern an Arbeit und Zeit beseitigt werden.

Es ist gegenwärtig kaum mehr nötig, nachzuweisen, daß die verschiedenen Gebiete der messenden Naturwissenschaften in einem Begriff gleichzeitig das Trennende, was sie unterscheidet, und das Gemeinsame, was sie verbindet, besitzen: es ist dies der Begriff der Energie. Mechanische Energie ist von

thermischer verschieden, ebenso chemische von elektrischer, und auf jedem Gebiete kann nur dadurch ein Fortschritt erzielt werden, daß man die besonderen Eigenschaften studiert, welche der betreffenden Energieform eigen sind. Gleichzeitig bilden aber die Gesetze, welche die Erhaltung und die Umwandlung der Energie bestimmen, das einzige Band, welches die verschiedenen Gebiete vereinigt: wäre nicht Wärme in mechanische Energie, chemische in elektrische verwandelbar, so ständen alle diese Gebiete isoliert da, und weder eine Thermodynamik noch eine Elektrochemie wäre möglich. Daraus geht hervor, daß ein Fortschritt in der wissenschaftlichen Auffassung der chemischen Erscheinungen davon abhängt, daß man zunächst die Eigenschaften der chemischen Energie für sich und sodann ihre Beziehungen zu den anderen Energieformen ermittelt; ist das geschehen, so wird man jedem chemischen Vorgang wissenschaftlich gewachsen sein, sei es, daß er nur zu anderen chemischen Vorgängen führt, sei es, daß dabei andere Energieformen entstehen oder zum Verschwinden gebracht werden.

Die Kenntnis der Gesetze der chemischen Energie ist nicht nur wissenschaftlich, sondern auch praktisch von allerhöchster Bedeutung. Alle Energie, deren die Industrie sich für ihre mannigfaltigen Zwecke bedient, stammt aus chemischen Quellen, der Verbrennung der Brennmaterialien. Aber auch jeder Schritt, den wir selbst tun, jedes Wort, das wir sprechen, ja jeder Gedanke, den wir denken, führt auf chemische Energiequellen zurück; Tiere und Pflanzen sind in ihrer Existenz in erster Linie auf chemische Energie und ihre Gesetze gegründet, und die letzten Probleme der Biologie sind überall chemische.

Alle Energiearten haben das Gemeinsame, daß sie sich in zwei Faktoren zerlegen lassen, welche beide bestimmte Eigenschaften haben. Der eine Faktor, wir nennen ihn Intensität, bestimmt, ob die Energie in Ruhe sein kann, oder sich umwandeln muß. So ist z. B. der Intensitätsfaktor der Wärme die Temperatur, denn wir wissen, daß zwei Körper in bezug auf

ihre Wärme nur dann in Ruhe sind, wenn ihre Temperaturen gleich sind. Den zweiten Faktor nennen wir die Kapazität; er bestimmt, wie viel Energie bei gegebener Intensität in dem betrachteten Objekt vorhanden ist. Bei der Wärme heißt er z. B. die Entropie.

Welches sind nun die Faktoren der chemischen Energie? Hätten wir ein Maß für ihren Intensitätsfaktor, wie das Thermometer ein Maß der Wärmeintensität ist, so würden wir von jedem Stoff in bezug auf jeden anderen sagen können, ob er mit ihm chemisch reagieren wird oder nicht, ebenso wie das Thermometer uns sagt, ob zwischen zwei Körpern die Wärme übergehen wird oder nicht. Die Antwort ist, daß diese Aufgabe zwar noch nicht ganz allgemein gelöst ist, daß wir aber für viele Vorgänge bereits ein solches „Chemometer", wie wir das Instrument nach Analogie der Thermometers nennen könnten, besitzen.

Von den Faktoren der chemischen Energie ist am leichtesten der Kapazitätsfaktor ausfindig zu machen. Die chemische Energie, welche unter gegebenen Umständen vorhanden ist, ist bekanntlich dem Gewichte oder der Masse der beteiligten Stoffe proportional. Deshalb kaufen und verkaufen wir chemische Energie nach Gewicht. Denn darüber wird man sich klar, wenn man sich einmal die Frage stellt: wenn wir Steinkohle kaufen, kommt es uns nicht auf den Kohlenstoff darin an, sondern auf die chemische Energie, denn den Kohlenstoff lassen wir bei der Benutzung ruhig als Kohlendioxyd durch den Schornstein entweichen, ohne uns irgendwelche Mühe zu geben, ihn zurückzuhalten; was wir aber mit größter Sorgfalt zurückhalten, ist die in Gestalt von Wärme erhaltene chemische Energie der Kohle. Ich habe mit Bedacht gesagt: Der Kapazitätsfaktor der chemischen Energie ist der Masse proportional; er ist aber nicht Masse, denn dieser Begriff gehört nur der Mechanik an.*

* Es ist deshalb keineswegs richtiger Atommasse zu sagen, statt Atomgewicht, denn es handelt sich dabei um die chemische Kapazitätsgröße, die sowohl der Masse wie dem Gewicht proportional, aber ebensowenig Masse wie Gewicht ist.

Mit der Intensitätsgröße der chemischen Energie fällt einigermaßen ein Begriff zusammen, welcher unter dem Namen der chemischen Verwandtschaft sich durch die Chemie gezogen hat, mehr um das Gebiet anzudeuten, auf welchem eine genauere Kenntnis in höchstem Grade wünschenswert ist, als daß sich mit diesem Worte hinreichend bestimmte Begriffe hätten verbinden lassen. Das Wort stand da, wie die Tafel mit dem Namen der künftigen Straße, welche außerhalb der Stadt auf wüstem Felde steht; Zelte und Baracken der seltsamsten Art sind von Zeit zu Zeit auf jenem Ort errichtet worden, um wieder verlassen zu werden; erst in allerjüngster Zeit haben sich solide Gebäude und dauernde Ansiedelungen an dieser Stelle ausgebildet, und bald wird dort ein neuer Stadtteil entstanden sein, dessen Bedeutung die älteren Teile der Stadt in den Schatten zu stellen droht.

Von Willard Gibbs ist die Intensitätsgröße der chemischen Energie das chemische Potential genannt worden, in Analogie mit der Intensitätsgröße der elektrischen Energie, welche das elektrische Potential heißt. Um die Unbestimmtheit zu vermeiden, welche mit dem Worte Affinität verbunden ist, wollen wir uns vorwiegend des Wortes chemisches Potential oder kurz Potential bedienen.

Nun geht aus dem Begriff der Intensitätsgröße hervor, daß zwei Stoffe mit gleichem Potential aufeinander nicht wirken können, und daß umgekehrt, wenn zwei Stoffe aufeinander chemisch einwirken, ihr Potential verschieden sein muß.

Für die chemischen Potentiale gilt nun auch das allgemeine Gesetz, welches als Ausdruck des zweiten Hauptsatzes angesehen werden kann: zwei Potentiale, welche einzeln einem dritten gleich sind, sind auch untereinander gleich. Der Satz sieht an und für sich sehr selbstverständlich und daher wenig bedeutungsvoll aus. Doch können wir aus ihm Schlüsse ziehen, welche ungemein weitreichend sind. Er sagt, daß zwei Stoffe oder Stoffgruppen, welche miteinander im Gleichgewicht

sind, sich einem dritten System gegenüber gegenseitig beliebig bei jeder chemischen Reaktion ersetzen können, für welche der Stoff in Betracht kommt, in bezug auf welchen Gleichgewicht herrscht. So kann beispielsweise jeder lösliche Stoff durch seine gesättigte Lösung, jede Flüssigkeit durch ihren gesättigten Dampf, jeder feste Körper bei seinem Schmelzpunkt durch den geschmolzenen Körper ersetzt werden, ohne daß das von dem ersteren abhängige Gleichgewicht eine Änderung erleidet. Hieraus geht unter anderem hervor, daß die Lösungs-, Schmelz- und Verdampfungswärmen bei chemischen Vorgängen zwar die Wärmeentwicklung ändern, nicht aber das Gleichgewicht; die von vielen noch immer verteidigte thermische Affinitätstheorie wird durch diesen Umstand als völlig unhaltbar erwiesen.

Es ist natürlich, bei einem so weitreichenden Satze nach seinem Beweise zu fragen. Dieser Beweis liegt darin, daß ein perpetuum mobile unmöglich ist. Um ein perpetuum mobile zu haben, ist es nicht nötig, Energie aus nichts zu schaffen, sondern nur ruhende Energie in Bewegung zu setzen. Wäre es z. B. möglich, die Wärme von konstanter Temperatur, welche im Weltmeer in ungeheuren Mengen vorhanden ist, in Arbeit zu verwandeln, welche dann wieder in Wärme übergehen könnte, so brauchten wir keine Steinkohle mehr, um unsere Dampfschiffe zu treiben, denn alle Arbeit, welche wir zu ihrer Bewegung aufwenden, wird durch Reibung wieder in Wärme verwandelt, und kommt daher in unveränderter Menge wieder in das Meer zurück. Ein solches perpetuum mobile würde aber sofort möglich sein, wenn zwei Dinge, die einzeln mit einem dritten im Gleichgewicht sind, nicht auch untereinander im Gleichgewicht wären. Nehmen wir an, der Körper A nehme in Berührung mit einem bestimmten großen Körper (z. B. dem Meere) eine Temperatur an, welche verschieden ist von der, welche ein anderer Körper B besitzt; wenn er seinerseits mit dem Meere im Gleichgewicht ist, so würden wir zwischen A und B einen Wärmeübergang erzeugen und dadurch eine

Maschine treiben können. Dieser Beweis gilt offenbar für jede andere Art des Gleichgewichtes und für jede Energieform, und somit ist auch unser chemischer Satz bewiesen.

Haben wir so die Bedingungen erkannt, unter welchen die Energie im Gleichgewicht und daher in Ruhe ist, so ist unmittelbar zu folgern, daß die Energie nicht in Ruhe sein kann, wenn ihre Potentiale verschieden sind. Es muß alsdann ein Vorgang eintreten, durch welchen sie wieder gleich werden. Dies ist das allgemeinste Ereignis, das wir kennen; alles, was geschieht, beruht in letzter Instanz darauf, daß Energie verschiedenen Potentials sich ausgleicht.

Wenn nun aber die Energie tatsächlich immerfort das Bestreben hat, sich auszugleichen, so muß gefragt werden, warum sie sich in den vielen Jahrtausenden, während welcher unser Weltsystem besteht, nicht schon längst ausgeglichen hat? Wir sehen ja beständig in der Natur Energiedifferenzen bestehen; gespannte Federn, komprimierte Luft, galvanische Elemente: alle diese Dinge enthalten Energievorräte, welche jederzeit zu wirken bereit sind, und welche daher unausgeglichen sein müssen. Ebenso sind die fossilen Brennmaterialien, die Schwefelmetalle u. s. w. nebst dem Sauerstoff der Luft fähig, große Mengen Energie bei ihrer Wechselwirkung herzugeben, und können daher auch nicht im Gleichgewicht sein. Neben dem Streben der Energie, sich auszugleichen, sind also in der Natur Ursachen wirksam, welche diese Ausgleichung verhindern oder aufschieben, und ein Verständnis der natürlichen Vorgänge kann erst gewonnen werden, wenn diese hemmenden oder verzögernden Ursachen bekannt sind.

Für die mechanische und elektrische Energie sind solche Hemmungen leicht herzustellen. Man kann eine Feder durch ein Gewicht gespannt halten, man kann zwei elektrisch geladene Körper, die sich zu nähern streben, durch die elastischen Widerstände des Zwischenmediums an der Ausgleichung verhindern. Alle solche Hemmungen kommen darauf hinaus, daß man die

vorhandenen Energieunterschiede durch Anwendungen anderer Energien kompensiert, so daß sie am Ausgleich verhindert werden; dabei läßt sich nachweisen, daß je nach der getroffenen Anordnung beliebig große Energiemengen der einen Art durch beliebig kleine der anderen Art kompensiert werden können: mittels eines kleinen Kontaktknopfes kann man riesige elektrische Ströme schließen und öffnen.

Bei der chemischen Energie haben sich aber häufig solche Kompensationen durch andere Energien nicht nachweisen lassen. Wenn ein Stück Holz an der Luft liegt, so würde es dem allgemeinen Streben nach dem Ausgleich der Energie entsprechen, wenn alsbald das Holz in Brand geriete, und sich mit dem Sauerstoff der Luft verbände. Ebenso ist es mit den Organismen. Unser Körper besteht aus verbrennlicher Substanz, und gemäß den vorhandenen chemischen Affinitäten müßte er sich mit dem Sauerstoff der Luft verbinden und unaufhaltsam verbrennen. Warum verbrennt er nicht?

Wenn wir versuchen wollten, diese Frage zu beantworten, würden wir uns bald in unauflösliche Widersprüche verwickeln. Wir dürfen gar nicht fragen: warum verbrennt unser Körper nicht, denn er verbrennt ja tatsächlich. Beständig nimmt er Sauerstoff auf, und gibt Kohlendioxyd ab. Und dieselbe Antwort ist bezüglich der anderen chemischen Vorgänge zu geben. Ein Stück Schwefel an der Luft bleibt scheinbar unverändert, aber nur scheinbar. Tatsächlich oxydiert es sich; sehr langsam zwar, so langsam, daß wir in Wochen, vielleicht in Monaten nichts davon merken; setzen wir den Versuch aber Jahre und Jahrzehnte lang fort, so wird die Oxydation meßbar. Die Geschwindigkeit des Vorganges ist offenbar der Oberfläche proportional; nehmen wir feines Schwefelpulver, Schwefelblumen oder Schwefelmilch, dessen Oberfläche sehr viel größer ist, so können wir die Bildung von Schwefelsäure schon nach Stunden und Tagen nachweisen.

Was hier an einzelnen Fällen dargelegt wurde, gilt all-

gemein; überall, wo verschiedene Stoffe miteinander in Berührung stehen, die aufeinander wirken könnten, während sie doch, praktisch gesprochen, ohne Wirkung aufeinander zu sein scheinen, wird man die Forderungen der allgemeinen Energetik mit den tatsächlichen Verhältnissen dadurch in Einklang bringen können, daß man den Stoffen tatsächlich eine Wirkung zuschreibt, die aber so langsam erfolgt, daß sie außerhalb des Bereiches der Meßbarkeit liegt.

Wir haben hier die Türe zu einem der wichtigsten und geheimnisvollsten Probleme in der Hand, zu der Frage nach der chemischen Tätigkeit der Organismen. Denn da alle Tätigkeit der Organismen auf dem Umsatz ihrer chemischen Energie beruht, so ist alles Verstehen hier von dem Verständnis des Wesens chemischer Vorgänge abhängig. Können wir nun einsehen, wie die chemischen Verbrennungsvorgänge, auf welche in letzter Instanz die physiologischen Energiequellen zurückführen, so reguliert werden können, daß sie sich in jedem Augenblicke den stets wechselnden Bedürfnissen des Organismus anzupassen vermögen, so haben wir damit einen der wichtigsten Schritte zum Verständnis des Lebens überhaupt getan.

Nehmen wir den Fall des Knallgases aus Sauerstoff und Wasserstoff. Unter gewöhnlichen Umständen kann man das Gemisch sehr lange aufbewahren, ohne daß eine meßbare Menge Wasser sich bildet. Bringen wir etwas Platinschwamm hinein, so beginnt sofort die Wasserbildung, und entfernen wir ihn, so hört sie sofort auf; der Platinschwamm hat dabei keine Änderung erfahren und kann unbegrenzt lange die gleiche Wirkung üben.

Auf den ersten Blick scheint ein solches Verhalten den ersten Grundsatz unserer neueren Naturwissenschaft: „causa aequat effectum" gröblich zu verletzen, denn hier haben wir eine Ursache, welche beliebig große Wirkungen hervorbringen kann, ohne sich zu erschöpfen. Fragen wir aber, was jener Grundsatz unter Ursache und Wirkung versteht, so sind es Energiegrößen. Es kann keine Energie irgendwelcher Art

hervorgebracht werden, ohne daß eine gleiche Energiemenge dazu verbraucht wird, und es können keine Potentialunterschiede der Energie hervorgerufen werden, ohne daß äquivalente Potentialunterschiede anderer Energien dabei verschwinden. Diese Grundsätze werden durch den Versuch mit dem Knallgase nicht verletzt, denn die Verbrennungswärme ist ganz dieselbe, ob das Gas durch den elektrischen Funken entzündet oder langsam durch Platinschwamm bei gewöhnlicher Temperatur zur Verbindung gebracht wird.

Während also das in die Gestalt des Energieprinzipes gebrachte Kausalgesetz zwar das schließliche Ergebnis des Vorganges in unverbrüchlicher Weise regelt, ist die Zeit, binnen deren der Vorgang sich abspielt, vollkommen unabhängig von diesem Prinzip und wir haben neben der starren Notwendigkeit des Kausalitätsgesetzes die Freiheit in bezug auf die Zeit, in welcher es zur Wirkung gelangt. Daher sehen wir, daß alle möglichen Vorgänge, die, von denselben Stoffen ausgehend, zu denselben Produkten gelangen, doch mit sehr verschiedenen Geschwindigkeiten diesen Weg zurücklegen; das Ziel des Weges ist unveränderlich; ob es aber binnen einer Sekunde oder binnen vieler Jahrtausende erreicht wird, das ist etwas, worüber wir frei verfügen können.

Man hat mit dem Namen der katalytischen Stoffe solche Substanzen bezeichnet, welche chemische Reaktionen hervorbringen, ohne dabei selbst eine Veränderung zu erleiden. Wir werden nunmehr diese Definition dahin abändern: Katalytische Stoffe sind solche, welche die Geschwindigkeit einer bestimmten chemischen Reaktion ändern, ohne ihren Energiebetrag zu ändern. (16) Die katalytische Substanz in die reagierenden Stoffe hinein- und sie wieder herauszubringen, erfordert, theoretisch gesprochen, keine Arbeit; daraus geht hervor, daß innerhalb der strengen Geltung des Energiegesetzes doch Raum für die größte Mannigfaltigkeit im zeitlichen Ablauf der Erscheinungen bleibt.

Dieser merkwürdige Umstand ist darin begründet, daß in dem Ausdruck der meisten Energiegrößen die Zeit nicht vorkommt,* und daß somit durch die Energiegleichung nichts über den Verlauf der Vorgänge in der Zeit bestimmt wird. (17)

Worauf die Wirkung der katalytischen Stoffe beruht, ist zurzeit noch ein Rätsel, dessen Lösung um so schwieriger ist, als sie nur auf Grund neuer Prinzipien, welche über das Energiegesetz hinausgehen, gefunden werden könnte. Vorläufig müssen wir uns mit der Tatsache begnügen, daß sie vorhanden ist, und müssen suchen, ihre Gesetze kennen zu lernen. Ein Anfang ist dazu schon gemacht worden; aus einer großen Anzahl verschiedenartiger Untersuchungen hat sich ergeben, daß viele langsam verlaufende chemische Vorgänge durch die Gegenwart freier Säuren, oder, um in der Sprache der heutigen Theorien zu reden, durch die Gegenwart freier Wasserstoffionen beschleunigt werden, und zwar proportional der Konzentration derselben. Ich habe die verschiedenartigsten Vorgänge teils selbst daraufhin geprüft, teils durch meine Schüler prüfen lassen, und habe bisher keinen Fall gefunden, wo dieser Satz nicht zutreffend gewesen wäre. Freie Wasserstoffionen sind also jedenfalls äußerst wirksame Katalysatoren von allgemeinem Charakter. (18)

Daneben existieren aber zahllose spezifische Katalysatoren, welche nur auf bestimmte Vorgänge wirken. Es sind dies die Fermente, geformte und ungeformte. Auch diese vermögen niemals etwas anderes, als die Geschwindigkeit bestimmter Vorgänge in einem oder dem anderen Sinne zu ändern, und jeder Versuch, ihre Wirkungsweise zu verstehen, muß von diesem Grundsatze ausgehen. Die Gesetze, denen sie unterworfen sind, scheinen sehr verwickelter Natur zu sein, namentlich bei den kompliziert zusammengesetzten Fermenten; es beruht dies wohl

* Eine Ausnahme macht nur die kinetische Energie, welche von der Geschwindigkeit abhängt; auf diese Energieform findet daher das oben Gesagte keine Anwendung.

darauf, daß sie gleichfalls während der von ihnen beeinflußten chemischen Vorgänge ihre Beschaffenheit ändern. (19)

Nun brauche ich nicht erst weitläufig auszuführen, daß die bewunderungswürdige Wirkung der lebenden Organismen in der angemessenen Beeinflußung der Geschwindigkeit der chemischen Vorgänge beruht, welche sich auf Grund der allgemeinen chemischen Gesetze zwischen den Stoffen desselben abspielen, und diese ist wieder auf die Tätigkeit katalytischer Substanzen zurückzuführen. Wird die Reaktionsgeschwindigkeit im Muskel beschleunigt, was vom Zentralorgan aus geregelt werden kann, so leistet er die entsprechende Arbeit; ist aber sein chemischer Energievorrat erschöpft, so kann keine Betätigung irgend eines Katalysators aus ihm eine fernere Leistung erzwingen. Ähnliches gilt für alle anderen Tätigkeiten der Organismen.

Ich kann mich nicht vermessen, in den vorangegangenen Darlegungen das Geheimnis des Lebens offengelegt zu haben. Wohl aber glaube ich, eine mir näher liegende Aufgabe gelöst zu haben: zu zeigen, daß die scheinbar abstrakte und dem tätigen Leben abgewendete Wissenschaft, welche unter dem Namen der physikalischen Chemie während der letzten Jahre sich entwickelt hat, eine Wissenschaft von äußerst realer Bedeutung ist. Wenn es ihr gelingen kann, Licht auf das schwierigste aller naturwissenschaftlichen Probleme, das des Lebens, zu werfen, wie viel leichter muß es ihr nicht werden, für die weit zugänglicheren Aufgaben der Technik Aufklärungen aus ihren allgemeinen Prinzipien zu schaffen, welche auf den bisherigen Wegen nicht gefunden werden konnten. Es liegt in der Natur der Sache und ist daher selbstverständlich, aber es muß doch immer wieder gesagt werden: je höher die theoretische Entwicklung der Wissenschaft gedeiht, um so weiter wird der Kreis ihrer Aufklärungen und um so größer daher ihre praktische Bedeutung.

6

ÜBER KATALYSE

(Vortrag, gehalten 1901 in der Versammlung der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte zu Hamburg.)


er Begriff und Name der katalytischen Wirkungen ist im Jahre 1835 von Berzelius aufgestellt worden, nachdem im vorangegangenen Jahre Mitscherlich das Ergebnis seiner klassischen Arbeit über die Bildung des Äthers dahin ausgesprochen hatte, daß der Zerfall des Alkohols in Äther und Wasser mit dem Einflusse der Schwefelsäure weder von der wasserentziehenden Wirkung der Säure, noch von der erhöhten Temperatur, noch endlich von der Bildung der Äthylschwefelsäure bedingt sei. Er schließt: „Zersetzungen und Verbindungen, welche auf diese Weise hervorgebracht werden, kommen sehr häufig vor; wir wollen die Zersetzungen und Verbindungen durch Kontakt nennen."

Während wir Mitscherlich ein erstes sorgfältig experimentell durchgearbeitetes Beispiel derartiger Vorgänge verdanken, ist das Verdienst von Berzelius der Nachweis, daß bereits eine größere Anzahl von Reaktionen bekannt war, welche mit jenem Falle bestimmte Ähnlichkeiten aufwiesen. Die Eigenschaft seines Geistes, welcher er einen wesentlichen Teil seiner großen Wirkung verdankte, seine Fähigkeit, auseinanderliegende

Einzelheiten systematisch zusammenzufassen, bewährte sich auch hier, und der von ihm geschaffene Begriff der Katalyse hat seitdem, wenn auch anfangs nicht ohne Widerspruch, aber jetzt endgültig Eingang in die Wissenschaft gefunden.

Die von Berzelius zusammengefaßten Erscheinungen sind folgende: die 1811 von Kirchhof entdeckte Umwandlung der Stärke in Dextrin und Zucker durch Kochen mit verdünnten Säuren; die von demselben 1813 nachgewiesene gleiche Wirkung des Malzauszuges, bezw. die 1833 durch Payen und Persoz bewirkte teilweise Isolierung des hierbei wirksamen Stoffes, der Diastase; die 1818 von Thenard untersuchte Zersetzung des Wasserstoffperoxyds durch Metalle, Oxyde und durch Fibrin; die Wirkung des Platins auf verbrennliche Gasgemenge (J. Davy und Döbereiner 1817 und 1822) und endlich zufolge der eben erwähnten Arbeit von Mitscherlich die Ätherbildung.

Das Gemeinsame in diesen Vorgängen ist, daß sie durch die Anwesenheit von Stoffen bewirkt werden, deren Bestandteile nicht in den Endprodukten erscheinen und daher durch die Reaktion nicht nicht verbraucht werden. Demgemäß definiert Berzelius sie folgendermaßen: „Die katalytische Kraft scheint eigentlich darin zu bestehen, daß Körper durch ihre bloße Gegenwart und nicht durch ihre Verwandtschaft die bei dieser Temperatur schlummernden Verwandtschaften zu erwecken vermögen, so daß zufolge derselben in einem zusammengesetzten Körper die Elemente sich in solchen anderen Verhältnissen ordnen, durch welche eine größere elektrochemische Neutralisierung hervorgebracht wird.“

Es ist wichtig, zu bemerken, daß in dieser Definition von Berzelius kein Versuch irgend einer Erklärung gemacht worden ist; vielmehr hat er in einer darauffolgenden Diskussion mit Liebig sehr ernstlich auf die große Gefahr hingewiesen, unvollkommen bekannte Erscheinungen durch hypothetische Annahmen erklären zu wollen und so die experimentelle For-

schung zu hindern. Diese Warnung ist nicht berücksichtigt worden, und die von Berzelius vorausgesehenen Behinderungen in der wissenschaftlichen Bearbeitung der Frage haben bis in unsere Tage ihre schädliche Wirkung geübt.

Versuchen wir, an der Hand der vorstehend gegebenen Begriffsbestimmungen eine Übersicht der gegenwärtig bekannten Kontaktwirkungen oder Katalysen zu gewinnen, so werden wir folgende Einteilung machen können:

1. Auslösungen in übersättigten Gebilden.
2. Katalysen in homogenen Gemischen.
3. Heterogene Katalysen.
4. Enzymwirkungen.

Die Tatsachen, welche zu dieser Gruppierung geführt haben, sollen nacheinander erörtert werden, wobei sich die Angemessenheit der Ordnung, wie ich hoffe, ergeben wird.

1. Auslösungen in übersättigten Gebilden.

Ich beginne mit diesen Erscheinungen, da sie gegenwärtig als grundsätzlich aufgeklärt gelten können und uns somit die Beurteilung der anderen Fälle erleichtern werden. Der bekannteste Fall ist hier die Kristallisation einer übersättigten Lösung, z. B. von Glaubersalz, durch Zutritt einer sehr kleinen Spur des festen Stoffes, in bezug auf den die Lösung übersättigt ist. Hier liegt zunächst das charakteristische Mißverhältnis zwischen der Menge des wirksamen Stoffes und der Menge des durch seinen Einfluß umgewandelten vor. Mittelst eines weit unterhalb der Grenze der Wägbarkeit liegenden Stäubchens kann man eine beliebig große Menge der übersättigten oder überkalteten Flüssigkeit zur Erstarrung bringen. Vor einigen Jahren habe ich die Größe des kleinsten Stäubchens zu messen versucht, welches noch die Wirkung zeigt; sie hat sich als sehr klein, nämlich 10^{-10} bis 10^{-12} g, aber nicht unmeßbar klein ergeben, denn noch kleinere Mengen brachten keine Erstarrung mehr hervor.

Diese Vorgänge sind nicht auf den Fall beschränkt, daß eine Flüssigkeit in bezug auf einen festen Körper übersättigt ist; sie kann auch in bezug auf ein Gas übersättigt sein, und es wird dann in ihr durch Spuren eines Gases eine unverhältnismäßige Gasentwicklung ausgelöst. Auch ist die Übersättigung oder allgemeiner die Überschreitung nicht an den flüssigen Zustand gebunden; auch Dämpfe können übersättigt in bezug auf flüssige oder feste Körper sein, und selbst bei festen Körpern sind Fälle bekannt, wo sie „übersättigt" in bezug auf Flüssigkeiten sind, d. h. sich in Berührung mit ein wenig der betreffenden Flüssigkeit in diese verwandeln. „Übersättigung" seitens fester Körper in bezug auf andere feste Körper, die aus ihnen entstehen können, sind sehr häufig.

Dagegen sind Übersättigungen von Flüssigkeiten in bezug auf andere Flüssigkeiten noch nicht sicher nachgewiesen und jedenfalls nur schwierig herzustellen.

Die Theorie aller dieser Erscheinungen ist bekannt. Es handelt sich in allen Fällen um die Tatsache, daß Gebilde vorliegen, deren Beständigkeit nicht die größte unter den vorhandenen Bedingungen von Druck und Temperatur ist. Es gibt vielmehr noch andere, beständigere Zustände, die dadurch gekennzeichnet sind, daß in ihnen eine neue Phase, d. h. ein physisch geschiedener Anteil mit anderen Eigenschaften auftritt. Bei der übersättigten Glaubersalzlösung ist es das feste Salz, bei dem übersättigten Sodawasser ist es das Kohlendioxydgas. Nun tritt allgemein eine solche neue Phase nie von selbst auf, wenn die Überschreitung nicht zu groß war, und das Gebilde verhält sich wie ein im Gleichgewicht befindliches. Tritt aber eine kleine Menge der fehlenden Phase mit diesem „metastabilen" Gebilde in Berührung, so ist die Reaktion aufgelöst, und die neue Phase vermehrt sich, bis Gleichgewicht eingetreten ist.

Ist die neue Phase ein fester Stoff, so ist die auslösende Wirkung, die „Keimwirkung", daran gebunden, daß der Keim

aus dem gleichen Stoffe besteht, wie die mögliche feste Phase. Außerdem haben noch isomorphe Stoffe diese Eigenschaft; fremde feste Körper sind dagegen ohne Wirkung. Hier ist allerdings noch ein weites Feld der Forschung offen, denn da isomorphe Stoffe wahrscheinlich durch die Bildung fester Lösungen wirken, so ist zu untersuchen, ob auch solche feste Stoffe, die zwar nicht isomorph sind, wohl aber mit dem betreffenden Stoffe feste Lösungen bilden können, wirksam sind.

Außerdem gibt es Fälle, wo feste Körper auslösend wirken, welche weder isomorph sind, noch feste Lösungen bilden. Solche „künstlichen Keime" kann man beispielsweise herstellen, wenn man Kieselsäure in Gegenwart der betreffenden Kristalle unlöslich werden läßt und dann die Kristalle mittelst passender Lösungsmittel entfernt. Ich habe diese Tatsache zwar konstatiert, aber noch nicht die Zeit gefunden, eine eingehende Untersuchung auszuführen und insbesondere einen sicheren Weg zur Gewinnung der künstlichen Keime auszuarbeiten. Doch glaubte ich die Beobachtung hier erwähnen zu sollen, da sie manche scheinbare Widersprüche aufklären kann, die man bei den Untersuchungen in diesem schwierigen Gebiete gefunden hat.

Während die Keime bei Übersättigungen in bezug auf feste Phasen spezifischer Natur sein müssen, wirkt bei Übersättigungen in bezug auf Gase jedes beliebige Gas auslösend. Dies ist eine Folge davon, daß sich jedes Gas in jedem anderen unbeschränkt löst, d. h. mit ihm eine homogene Mischung liefert.

Eine gegebene Flüssigkeit kann gleichzeitig in bezug auf verschiedene Phasen übersättigt sein. So kann man leicht Natriumacetat und Natriumthiosulfat zu einer Flüssigkeit zusammenschmelzen, welche gegen Keime jedes dieser Salze in besonderer Weise reagiert, indem nur der betreffende Stoff ausgeschieden wird, während der andere im flüssigen Zustande hinterbleibt. Denkt man sich daher in einer Röhre an einer Stelle einen Keim des Acetats, an einer anderen Stelle einen solchen des Thiosulfats angebracht, so wird beim Durchströmen

der Flüssigkeit durch die Röhre jeder dieser Keime in seiner eigenen Art wachsen.

Wir haben hier ein Beispiel für die physiko-chemische Möglichkeit gewisser organischer Vorgänge, über welche sich bereits Berzelius bei Gelegenheit seiner Erörterungen über Katalyse den Kopf zerbrochen hat. Es ist dies die Bildung der verschiedenartigsten Stoffe in den Organen des tierischen Körpers aus einer und derselben Flüssigkeit, dem Blute. Wenn wir das Blut als eine in bezug auf alle diese Stoffe übersättigte Lösung betrachten dürften, so wäre es verständlich, daß jedes Organ sich seiner Substanz nach auf Kosten einer und derselben Flüssigkeit vermehren kann.

Es wäre jedenfalls unzulässig, zu behaupten, daß hiermit wirklich eine allgemeine Theorie der tierischen Sekretionen gegeben sei. Denn die Betrachtung hat ja nur Geltung für feste Stoffe oder allgemein für eine heterogene Phase. Auch ist noch die Vorfrage zu erledigen, ob denn auch Verbindungen, die in der Flüssigkeit nicht vorgebildet sind, sondern erst durch chemische Wechselwirkung der darin enthaltenen Stoffe entstehen müssen, Übersättigung gegen berührende feste Phasen zeigen können.

Diese Frage muß bejaht werden. Es sind uns beispielsweise Übersättigungserscheinungen an den Lösungen des Calciumsulfats wohlbekannt, welche so verdünnt sind, daß sie zum allergrößten Teil dies Salz in Gestalt seiner Ionen enthalten. Da im festen Salze keine Ionen enthalten sind, liegt hier eine chemische Umwandlung vor. Ebenso zeigen verdünnte Lösungen von Bleisalzen und Thiosulfaten Übersättigung in bezug auf Bleisulfid, das aus ihnen durch eine weitgehende chemische Zersetzung entsteht. Endlich gewähren die Methoden der »physikalischen Entwicklung« in der Photographie Beispiele solcher Erscheinungen.

Leider ist es nicht ausführbar, an dieser Stelle die möglichen physiologischen Anwendungen der hier obwaltenden

Gesetze darzulegen, und ich muß mich mit dem Ausdrucke meiner Überzeugung begnügen, daß auf diesem Wege in der Tat manche Probleme des organischen Lebens eine zureichende Lösung finden können.

Fassen wir die eben geschilderten Verhältnisse grundsätzlich zusammen, so sehen wir, daß die wesentlichste Voraussetzung das Vorhandensein eines metastabilen Gebildes ist, welches den stabileren Zustand aus eigenen Kräften erst aufsucht, nachdem ihm ein Weg dazu geöffnet ist. Der Keim der anderen Phase ist nicht die Ursache der Reaktion in dem Sinne, in welchem R. Mayer dies Wort braucht, denn er liefert nicht die für den Vorgang erforderliche freie Energie, sondern er ist nur die Auslösung eines Vorganges, der sich aus eigenen Kräften vollendet, nachdem er einmal in Gang gebracht ist.

Wir können uns schon jetzt darüber klar werden, daß ähnliches auch für alle anderen Fälle der Kontaktwirkung gelten muß. Gerade der Mangel an Proportionalität zwischen der Menge des katalytisch wirkenden Stoffes und dem Betrage der Umwandlung macht es zu einer notwendigen Voraussetzung, daß die katalytisch verursachten Vorgänge ihren Energieaufwand aus Eigenem bestreiten. Diese Erkenntnis tritt im Gewande ihrer Zeit schon bei Berzelius auf, wenn er sagt, daß durch den Vorgang eine größere elektrochemische Neutralisation bewirkt würde. Er ist auch gegenwärtig oft genug ausgesprochen worden, aber meist in einer falschen Gestalt. So finde ich bei einem hervorragenden Erforscher der katalytischen Enzymwirkungen den Satz, daß durch diese nie eine endothermische Reaktion soll bewirkt werden können. Dies ist ganz unrichtig, denn da endothermische Reaktionen von selbst, d. h. ohne katalytische Beeinflussung, ganz wohl stattfinden können, so ist gar nicht einzusehen, warum solche nicht auch unter dem Einflusse von Enzymen stattfinden sollten. Wohl aber sind unter diesen Einflüssen keine Reaktionen möglich, bei denen eine Verminderung der freien (nicht der

gesamten) Energie stattfindet. Es sind mit anderen Worten unter dem Einflusse von Katalysatoren keine Reaktionen möglich, die nicht auch ohne diesen Einfluß stattfinden könnten, ohne daß eines der Energiegesetze verletzt wird. In dieser Gestalt ist der Satz allerdings den beteiligten Forschern nicht ganz geläufig, denn es finden sich nicht selten Darstellungen, in denen der auf den zweiten Hauptsatz bezügliche Teil dieses Gesetzes mißachtet und verletzt wird.

Ganz unhaltbar ist die Behauptung, daß Katalysatoren nur spaltende, keine synthetische Wirkung haben können. Die organische Chemie bietet zahlreiche Beispiele des Gegenteiles: ich brauche nur an die Synthesen unter dem Einflusse des Kaliumäthylats zu erinnern.

2. Katalysen in homogenen Gemischen.

Die jetzt zu besprechende Abteilung der Kontaktwirkungen ist die größte und theoretisch wichtigste. Hierher gehören die meisten der zahllosen inzwischen entdeckten katalytischen Wirkungen.

Fragen wir, ob sich die im ersten Falle gegebene Erklärung auch hier anwenden läßt, so muß die Antwort verneinend lauten. Das Wesentliche im ersten Falle war ja das Auftreten der neuen Phase; diese ist aber hier durch die Definition ausgeschlossen.

Den richtigen Standpunkt dem neuen Problem gegenüber finden wir aber, wenn wir an der allgemeinen Bedingung festhalten, welche eben für alle Gebilde aufgestellt worden ist, die einer Kontaktwirkung unterliegen: sie dürfen nicht einen stabilsten Zustand darstellen, denn ein solcher kann überhaupt keine Änderung ohne Energiezufuhr erfahren. Wie verhalten sich aber instabile Gebilde, wenn sie homogen sind?

Die Antwort ist, daß homogene instabile Gebilde überhaupt nicht anders als im Zustande der Umwandlung existieren können. Eine übersättigte Lösung kann, wenn die

Übersättigung innerhalb gewisser Grenzen bleibt, bei passendem Schutz unbegrenzt lange aufbewahrt werden, und in ihr findet keinerlei Veränderung statt. Eine Flüssigkeit aber, welche ohne Zufuhr freier Energie andere flüssige Produkte liefern kann, die gelöst bleiben, läßt sich nicht aufbewahren, ohne diese Produkte zu bilden. Dies kann möglicherweise äußerst langsam geschehen, so langsam, daß ohne besondere, auf den Zweck gerichtete, langwierige Untersuchung eine Veränderung überhaupt nicht nachgewiesen werden kann. Aber die sicherste Grundlage allgemeiner Schlüsse, die wir kennen, die Gesetze der Energetik verlangen, daß tatsächlich die Umwandlung stattfindet. Sie diktieren keinen Zahlenwert der Geschwindigkeit, die dabei eingehalten werden muß; sie verlangen nur, daß diese Geschwindigkeit nicht streng Null ist, sondern einen endlichen Wert hat.

Hierdurch gewinnen wir alsbald auch für diesen Fall die Definition eines Katalysators.

Ein Katalysator ist jeder Stoff, der, ohne im Endprodukt einer chemischen Reaktion zu erscheinen, ihre Geschwindigkeit verändert.

Es ist bei dieser Definition sachgemäß vermieden, irgend eine Ansicht über die Ursache eines solchen Einflusses auszusprechen. Ja, wir müssen uns hüten, auch nur zu behaupten, daß für alle katalytischen Wirkungen Ursachen derselben Art maßgebend sind. Diese Fragen stehen auf einem anderen Blatt; hier soll zunächst nur eine Definition gefunden werden, welche eine wissenschaftliche Bearbeitung der Frage ermöglicht.

Daß die gegebene Definition diesen Zweck erfüllt, werden Sie alsbald erkennen, denn sie ergibt sofort die Fragestellung nach dem zahlenmäßigen Betrage der Beschleunigung, bez. Verzögerung und deren Abhängigkeit von der Natur und Konzentration des Katalysators, der Temperatur, der Gegenwart anderer Stoffe u. s. w. Es ist selbstverständlich, muß aber dennoch ausgesprochen werden, daß alle Versuche, Theorien

für die Ursache der katalytischen Erscheinungen aufzustellen, wertlos bleiben, bis derartige messende Feststellungen durchgeführt sind. (20)

Faßt man die Katalyse in dem eben definierten Sinne auf, so ist sie eine ungemein verbreitete Erscheinung, welche tatsächlich sich jedesmal geltend macht, wenn überhaupt die Geschwindigkeit einer chemischen Reaktion der Messung zugänglich ist. Ein ausgezeichnetes Beispiel haben die bekannten Versuche von Menschutkin ergeben, der für eine Anzahl verschiedenartiger Reaktionen nachgewiesen hat, daß ihre Geschwindigkeit je nach dem Lösungsmittel zwischen sehr bedeutenden Grenzen verschieden ausfallen kann. Schon diese Wirkungen der Lösungsmittel werden wir also als katalytische zu bezeichnen haben. Feststellungen darüber, ob sich hierbei etwa Verbindungen zwischen dem Lösungsmittel und den Reagentien bilden, so daß Änderungen der Geschwindigkeit auf Änderungen der wirksamen Mengen zurückzuführen sind, sollen dadurch natürlich nicht präjudiziert sein.

Zwischen diesen Einflüssen und solchen, bei denen verschwindend geringe Mengen zugesetzter Stoffe die Geschwindigkeit in allerhöchstem Maße ändern, lassen sich stetige Übergänge von allen Graden nachweisen. Bisher sind meist Wirkungen der letzteren Art ausschließlich als katalytische bezeichnet worden; da es sich indessen nur um quantitative Unterschiede handelt, so ist es methodisch nicht gerechtfertigt, die Fälle auszuschließen, in welchen die Beträge kleinere Werte haben.

Zur Beobachtung und Messung sind bisher meist die Fälle gelangt, in denen sehr große Beeinflussungen durch sehr kleine Stoffmengen vorlagen. Selbst wenn man sich auf solche beschränkt, so ist die Anzahl der nachgewiesenen einzelnen Fälle bereits jetzt außerordentlich groß. Insbesondere verdanken wir den Arbeiten Schönbeins eine fast unabsehbare Liste solcher Reaktionen. Allerdings fehlt bei Schönbein noch die Er-

enntnis, daß es sich bloß um Beschleunigung an sich statt-
indender, nur langsam verlaufender Vorgänge handelt; er sieht
ie vielmehr als durch den Katalysator erst hervorgerufen an.
Dadurch stehen wir jetzt vor der Aufgabe, das von diesem
unermüdlichen und originalen Forscher ausgegrabene Roh-
material einer quantitativen Durcharbeitung zu unterziehen:
eine Arbeit, welche die gemeinsame Betätigung einer ganzen
Reihe von Forschern beanspruchen wird.

An eine Aufzählung solcher Fälle kann ich hier nicht
gehen. Ich will nur betonen, daß es keine Art chemischer
Reaktionen zu geben scheint, die nicht katalytisch beeinflußt
werden könnte, und keine Art chemischer Stoffe, seien es
Elemente oder Verbindungen, die nicht katalytisch wirken
könnten. Ebenso beantwortet sich die von Berzelius bereits
gestellte Frage, ob es allgemeine oder spezifische Katalysatoren
ebe, dahin, daß beide Fälle nachweisbar sind. Während
eispielsweise die Anwesenheit von Wasserstoffion die meisten
iemischen Reaktionen beschleunigt, so daß dieser Stoff als
n Katalysator von großer Allgemeinheit bezeichnet werden
uß, gibt es namentlich unter den Enzymen spezifische Ka-
lysatoren, welche nur auf ganz bestimmte Stoffe ihre be-
hleunigende Wirkung ausüben. Auch die andere Frage von
erzelius, ob aus einem und demselben Stoff oder Stoff-
:misch durch verschiedene Katalysatoren verschiedene Pro-
ıkte hervorgebracht werden können, oder in unserem Sinne,
verschiedene mögliche Reaktionen an demselben Gebilde
ırch verschiedene Katalysatoren in verschiedenem Sinne be-
hleunigt werden können, glaube ich bejahend beantworten
müssen, wenn ich auch keine besonders auf diesen Zweck
:richteten Versuche anzuführen weiß. (21)

Wenden wir uns nun den Versuchen zu, die katalytische
scheinung dem wissenschaftlichen Verständnis näher zu bringen
ler eine Theorie derselben zu geben, so muß ich an das eben
esagte erinnern. Die bisherigen Theorien, soweit sie über-

haupt Anspruch auf wissenschaftliche Bedeutung erheben können, schweben zur Zeit noch in der Luft, da ihre messende Durcharbeitung eben nur in Angriff genommen ist. Wenn auch die Untersuchungen, zu deren Verfolgung seit einigen Jahren sich eine Anzahl tüchtiger, junger Forscher in dem von mir geleiteten Laboratorium vereinigt hat, bereits einige Ergebnisse in diesem Sinne haben zutage treten lassen, so möchte ich doch an dieser verantwortlichen Stelle mir voreilige Schlüsse am wenigsten zuschulden kommen lassen. Vielleicht wird es nach einigen Jahren möglich sein, allgemeine Ergebnisse mitzuteilen; heute muß ich mich damit begnügen, daß der Boden für die gemeinsame Arbeit der Fachgenossen frei gemacht ist.

Die erste Theorie der katalytischen Erscheinungen wurde von Liebig aufgestellt, und zwar zu dem Zwecke, diesen von Berzelius geschaffenen Begriff als überflüssig erscheinen zu lassen. Liebig faßte die Katalyse als eine unmittelbare Folge des mechanischen Trägheitsgesetzes auf. Seine Äußerung lautet: „Diese Ursache ist die Fähigkeit, welche ein in Zersetzung oder Verbindung, d. h. in chemischer Aktion begriffener Körper besitzt, in einem anderen ihn berührenden Körper dieselbe chemische Tätigkeit hervorzurufen, oder ihn fähig zu machen, dieselbe Veränderung zu erleiden, die er selber erfährt. Diese Fähigkeit wird am besten durch einen brennenden Körper (einen in Aktion begriffenen) versinnlicht, mit welchem wir in anderen Körpern, indem wir sie dem brennenden nähern, dieselbe Tätigkeit hervorrufen."

Liebig hat bei dieser Erklärung offenbar keine glückliche Hand gehabt. Sein Beispiel schlägt ihn selbst, denn zum Anzünden braucht man keinen brennenden Körper, sondern nur einen heißen; ob er infolge eines chemischen Vorganges heiß ist oder aus irgend einem anderen Grunde, ist für den Erfolg ganz gleichgültig. Es sind denn auch alsbald solche Einwände

erhoben worden, und Liebig sah sich veranlaßt, seiner Hypothese eine veränderte Gestalt zu geben. Er erläutert seine Ansicht in Anschluß an die Frage der Zuckergärung durch folgende Worte:

„Ähnlich wie die Wärme das statische Moment in den Elementen sehr vieler chemischer Verbindungen aufzuheben fähig ist, geschieht dies durch einen Körper, dessen Elemente sich selbst im Zustande eines aufgehobenen Gleichgewichtes befinden; die Bewegung, in der sich seine Atome befinden, teilt sich den Atomen der Elemente des Zuckers mit: sie hören auf, in dem Zustande zu beharren, in welchem sie Zucker bilden, und ordnen sich nach ihren besonderen Anziehungen."

Diese Hypothese „molekularer Schwingungen" hat sich in der Folge einer großen Beliebtheit erfreut und dürfte noch heute die Ansicht vieler, insbesondere der nichtbeteiligten Fachgenossen darstellen. Sie hat den besonderen Vorzug, daß sie nicht widerlegt werden kann, da sie überhaupt einer Prüfung nicht zugänglich ist. Die wissenschaftliche Anspruchslosigkeit, welche in der Anwendung einer solchen „Theorie" liegt, wurde um so weniger empfunden, als auch die übrige Entwicklung der Chemie nach einer Richtung stattfand, in welcher die Benutzung molekularer Hypothesen als ein vollwichtiges wissenschaftliches Hülfsmittel galt. Wenn man aber versucht, aus ihr auch nur die geringste Anleitung zu experimenteller Fragestellung und Forschung zu entnehmen, oder sie zu irgend einer Vermutung über die möglichen Gesetze der katalytischen Wirkungen zu verwerten — und dies ist doch der einzige Zweck solcher Hypothesen —, so überzeugt man sich allerdings von ihrer vollendeten Unfruchtbarkeit.

Daß durch die Hypothese der molekularen Schwingungen die ganze Angelegenheit tatsächlich auf ein totes Gleis gefahren war, läßt sich daraus erkennen, daß eine stetige wissenschaft-

6*

liche Bearbeitung des einst mit so großem Eifer behandelten Problems hernach nicht eingetreten ist. Lange Zeit hindurch sind es immer nur vereinzelte Forscher, welche sich um katalytische Erscheinungen kümmern, sie beobachten und beschreiben. Auch hat sich Schönbein, dessen Forschungen wir so viel von dem verdanken, was wir an Tatsachen gegenwärtig wissen, an den theoretischen Streitigkeiten über deren Ursache nicht beteiligt; es machte ihm vielmehr ein sichtliches Vergnügen, diesen Erscheinungen nachzugehen, für welche die zeitgenössische Chemie, der er nur geringe Achtung zollte, keine Erklärung noch Unterkunft wußte.

Viel günstigeres läßt sich von einem anderen Gedanken sagen, der lange vorher aufgestellt, inzwischen aber gar nicht zur Geltung gekommen war. Es ist dies die Idee der Zwischenreaktionen.

Ihren Ausgang hat sie in der ersten wissenschaftlichen Bearbeitung genommen, welche die chemischen Vorgänge in der Bleikammer beim Schwefelsäureprozeß erfuhren. In einer klassisch gebliebenen Arbeit haben Clément und Désormes im Jahre 1806 die noch heute allgemein angenommene Erklärung für die Wirkung gegeben, welche die Oxyde des Stickstoffes bei der Oxydation der schwefligen Säure durch den Luftsauerstoff ausüben. Wie Sie alle wissen, beruht sie auf der Annahme, daß die schweflige Säure durch die höheren Oxyde des Stickstoffes oxydiert wird, während diese in Stickoxyd übergehen. Letzteres verbindet sich wieder mit dem Luftsauerstoff, und der Vorgang kann von neuem erfolgen. So dient dann eine geringe Menge von Stickstoffoxyden, um unbegrenzte Mengen schwefliger Säure zu oxydieren.

Merkwürdigerweise wurde zu der Zeit des Streites zwischen Berzelius und Liebig dieser Fall gar nicht in die Erörterung gezogen, und erst später finden sich Anwendungen der alten Betrachtungsweise auf andere Fälle, wo chemische Vorgänge durch Stoffe befördert werden, ohne daß ein stöchiometrisches

Verhältnis zu diesen Hilfsstoffen besteht. Doch hat sich dann diese Auffassung mehr und mehr verbreitet, und heute muß man sie als den ältesten und wichtigsten Versuch bezeichnen, gewisse, wenn auch vielleicht nicht alle katalytischen Vorgänge zu erklären.

Allerdings besteht auch dieser Ansicht gegenüber meist noch eine gewisse Anspruchslosigkeit. Wenn man sich einer katalytischen Erscheinung gegenüber sieht, so sucht man nach möglichen Zwischenprodukten, an deren Bildung der Hülfsstoff oder Katalysator teilnehmen könnte, und erachtet die Aufgabe als im wesentlichen gelöst, wenn man einen solchen namhaft machen kann. Gelingt es gar, etwas von dem angenommenen Zwischenprodukt aus der Reaktionsmasse herauszupräparieren, so gilt die Auffassung als erwiesen. Ob jener Stoff wirklich ein Zwischenprodukt und nicht etwa nur ein Nebenprodukt ist, das ist eine Frage, welche kaum gestellt, geschweige denn erledigt wird.

Prüfen wir nun den Gedanken von unserem heutigen Standpunkte aus, so wird man zunächst etwas Widersprechendes in ihm empfinden. Damit ein Vorgang überhaupt verläuft, muß er mit einem Abfall der freien Energie verbunden sein. Dieser Abfall hängt nur vom Anfangs- und Endpunkte der Reaktion ab, nicht aber von ihrem Wege. Andrerseits ist die Geschwindigkeit der Reaktion in streng vergleichbaren Fällen proportional diesem Abfalle. Hieraus würde man zu schließen geneigt sein, daß die Reaktionsgeschwindigkeit eines gegebenen Gebildes denselben Wert haben müßte, ob der Vorgang direkt oder indirekt, ob er in einem Zuge oder in Stufen stattfindet.

Ein solcher Schluß wäre falsch, denn außer dem Abfall der freien Energie sind noch viele andere Faktoren für die Reaktionsgeschwindigkeit bestimmend, die man keineswegs alle kennt. Ein wohlbekanntes Beispiel ist der sehr große Einfluß, den die Temperatur hat, und der unverhältnismäßig viel mehr

beträgt, als die entsprechende Zunahme der freien Energie. Auch lehrt die chemische Energetik, daß sich zwar über die Gleichgewichte gegebener Gebilde, nicht aber über die Geschwindigkeit, mit welcher diese von einem gegebenen Zustande aus erreicht werden, Allgemeines aussagen läßt. Es ergibt also keinen Widerspruch mit allgemeinen Gesetzen, wenn wir annehmen, daß eine gewisse Reaktionsfolge über einen Zwischenstoff schneller erfolgt, als die unmittelbare Reaktion ohne diesen; doch spricht auch nichts dafür und einiges dagegen, daß dies allgemein der Fall ist.

Um also auf unser klassisches Beispiel, das ja übrigens auch bald der Geschichte angehören wird, (22) zurückzukommen, so können wir immerhin annehmen, daß die schweflige Säure durch den Luftsauerstoff allein viel langsamer oxydiert wird, als die beiden Reaktionen: Oxydation der schwefligen Säure durch Stickstoffperoxyd und Oxydation des Stickoxyds durch Luftsauerstoff, nebeneinander verlaufen, trotzdem die Konzentrationen der Zwischenprodukte notwendig geringer sein müssen, als die für die unmittelbare Reaktion wirksamen Konzentrationen. Aber damit wir diese Auffassung als wissenschaftlich begründet erachten, fehlt noch die Hauptsache: es müssen die in Betracht kommenden Reaktionsgeschwindigkeiten wirklich gemessen sein, und ehe dies geschehen ist, kann man nur von einer Vermutung, nicht aber von einer Erklärung reden. Und was hier gesagt ist, gilt allgemein: durch die Annahme irgendwelcher Zwischenreaktionen wird eine katalytische Beschleunigung durchaus nicht erklärt, wenn nicht bewiesen wird, daß diese Zwischenreaktionen unter den vorhandenen Bedingungen tatsächlich schneller verlaufen, als die direkte Reaktion.

Bis heute ist noch kein derartiger Fall einwurfsfrei durchgearbeitet und eine derartige Erklärung in keinem einzigen Falle bewiesen. Allerdings wird, wie ich hoffe, diese Lücke nicht mehr lange bestehen, denn einige auf diesen Punkt gerichtete Arbeiten sind ihrem Abschlusse nahe. (23)

Es entsteht nun, vorausgesetzt, daß in einzelnen Fällen die Richtigkeit der Theorie der Zwischenprodukte bewiesen ist (was allem Anscheine nach eintreten wird), die neue Frage, ob auf diesem Wege eine Erklärung aller Katalysen gegeben sei. Ich glaube, daß hierauf unbedingt mit Nein geantwortet werden muß. Ich glaube eine ganze Anzahl Katalysen zu kennen, bei denen eine derartige Erklärung nicht durchführbar ist. Insbesondere sehe ich keine Möglichkeit, die Tatsache der verzögernden katalytischen Beeinflussungen durch die Annahme von Zwischenprodukten zu erklären. Denn wenn eine Reaktion über die Zwischenprodukte langsamer geht, als auf direktem Wege, so wird sie eben auf diesem letzteren stattfinden, und die Möglichkeit von Zwischenprodukten hat überhaupt keinen Einfluß auf den Vorgang.* (24)

Wohl aber erscheint mir eine Ausdehnung der Theorie der Zwischenprodukte auf die heterogenen Katalysen möglich; wir kommen auf diese Frage im nächsten Teile zurück.

Eine andere Theorie der Katalysen ist in neuerer Zeit von Euler aufgestellt worden. Indem er von der bereits früher erwogenen Annahme ausgeht, daß alle chemischen Reaktionen Ionenreaktionen sind, und daß ihre Geschwindigkeiten von der Konzentration der wirksamen Ionen abhängen, nimmt er an, daß der katalytische Stoff die Eigenschaft hat, die Konzentration der beteiligten Ionen zu ändern. Gemäß dieser veränderten Konzentration muß denn auch die Reaktionsgeschwindigkeit sich ändern.

So viel ich sehe, ist eine solche Theorie formal durchführbar, d. h. es wird im allgemeinen möglich sein, die erforderlichen Annahmen zu machen, ohne mit den Gesetzen der allgemeinen Chemie in Widerspruch zu geraten. Ob sich aber nicht später Widersprüche einstellen werden, wenn man die erforderlichen Annahmen für eine Anzahl von Stoffen gemacht

* Wie mir jüngst von befreundeter Seite mitgeteilt worden ist, besteht doch eine Möglichkeit, derartige Fälle zu konstruieren.

und dann deren wechselseitige Reaktionsgeschwindigkeiten bestimmt hat, läßt sich jetzt noch nicht absehen. Insbesondere scheint mir eine wesentliche Schwierigkeit in der mehrfach konstatierten Tatsache zu liegen, daß zwei Katalysatoren bei gemeinsamer Wirkung oft eine ganz unverhältnismäßig viel größere Beschleunigung bewirken, als sich aus der Summierung ihrer Einzelwirkungen berechnet. Hier läßt sich nicht absehen, wie durch die gleichzeitige Wirkung der beiden Katalysatoren (z. B. Cupriion und Ferroion) so sehr viel größere Mengen der reaktionsfähigen Ionen gebildet werden sollen, als diese einzeln bilden können.

Man wird also auch von dieser Theorie sagen können, daß sie einige Katalysen, aber keineswegs alle, wird deuten können.

Einen verwickelteren Fall katalytischer Erscheinungen bilden solche Vorgänge, wo die an der Reaktion beteiligten Stoffe selbst noch außerdem katalytisch wirken. Ich will von den hier vorhandenen Möglichkeiten der Autokatalyse nur den Fall erwähnen, daß durch die Reaktion selbst ein Beschleuniger entsteht. Dies tritt beispielsweise bei einer der bekanntesten Reaktionen, der Auflösung der Metalle in Salpetersäure, ein. Die hierbei entstehende salpetrige Säure beschleunigt in hohem Grade die Geschwindigkeit der Einwirkung der Salpetersäure, und dadurch kommt folgende Erscheinung zu stande.

Wird das Metall in die reine Säure gebracht, so beginnt die Reaktion äußerst langsam. In dem Maße, wie sie fortschreitet, wird sie schneller und schließlich stürmisch. Ist diese Periode vorüber, so verlangsamt sich der Prozeß und endet mit einer gegen Null konvergierenden Geschwindigkeit.

Dieses steht in auffallendem Widerspruche mit dem gewöhnlichen Verlauf der Reaktionen, die mit der größten Geschwindigkeit beginnen und wegen des allmählichen Verbrauches der wirkenden Stoffe immer langsamer werden.

Hier drängen sich die physiologischen Analogien unwiderstehlich auf: es ist eine typische Fiebererscheinung. Und noch

eine andere wichtige physiologische Tatsache läßt sich auf gleichem Wege illustrieren: die Gewöhnung und das Gedächtnis. Ich habe hier zwei Proben derselben Salpetersäure, die nur dadurch verschieden sind, daß ich in der einen vorher ein Stückchen Kupfer aufgelöst habe. Ich bringe zwei gleiche Kupferbleche in die beiden Säuren, die in demselben Wassergefäß stehen, damit sie die gleiche Temperatur haben. Alsbald sehen sie, daß die Säure, welche schon einmal Kupfer gelöst hatte, sich an diese Arbeit „gewöhnt“ hat und sie sehr geschickt und geschwind auszuführen beginnt, während die ungeübte Säure mit dem Kupfer nichts anzufangen weiß und ihre Wirkung so träge und ungeschickt ausführt, daß wir sie nicht abwarten können. Daß es sich um eine Katalyse durch salpetrige Säure handelt, wird ersichtlich, wenn ich etwas Natriumnitrit zur trägen Säure füge: alsbald wird auch hier das Kupfer angegriffen und aufgelöst.

3. Heterogene Katalyse.

Der bestbekannte Fall der heterogenen Katalyse ist die Wirkung des Platins auf verbrennliche Gasgemenge. Während früher die Erscheinungen am Knallgase im Vordergrunde des Interesses standen, ist gegenwärtig aus praktischen Gründen die Verbrennung des Schwefeldioxyds zu Trioxyd die wichtigste von allen geworden.

Auch in allen diesen Fällen handelt es sich wohl um Beschleunigungen langsamer Reaktionen, wenn auch zugegeben werden muß, daß beispielsweise beim Knallgase noch keine Wasserbildung bei gewöhnlicher Temperatur ohne Katalysator nachgewiesen worden ist.

Aber die Stetigkeit der Änderung der Geschwindigkeit mit der Temperatur berechtigt uns auch hier zu der Vermutung, daß tatsächlich eine sehr kleine Reaktionsgeschwindigkeit auch bei gewöhnlicher Temperatur stattfindet. Daß sie so besonders

klein ist, entspricht der allgemeinen Tatsache, daß alle Gasreaktionen verhältnismäßig sehr langsam stattfinden.

Diese wichtige Tatsache tritt z. B. deutlich bei den Versuchen von Berthelot und Péan de St. Gilles hervor. Es wurde die Esterbildung aus Säure und Alkohol bei gleicher Temperatur in zwei Versuchen verglichen, wo einerseits die Stoffe flüssig, andrerseits dampfförmig waren. Wenn auch die Versuche keine genane Berechnung gestatten, ob die Verlangsamung durch die starke Verminderung der Konzentrationen vollständig erklärbar ist, oder ob sie (was wahrscheinlicher ist) noch mehr austrägt, kommt nicht in Frage; es genügt, zu wissen, daß durch den Übergang in Dampfgestalt die Reaktionsgeschwindigkeit etwa auf den 10000sten Teil herabgedrückt wurde.

Hierauf kann man nun nach Bodenstein eine Theorie der eben erwähnten Beschleunigungen gründen. Denken wir uns, daß aus dem gasförmigen Gebilde bei der vorhandenen Temperatur ein Teil in den flüssigen Zustand versetzt wird oder eine diesem Zustande entsprechende Dichte annimmt, so wird in diesem Teile die Reaktion entsprechend schneller stattfinden, und die flüssigen Anteile der Ausgangsstoffe werden sich in die Endprodukte verwandeln. Ist nun die verflüssigende oder verdichtende Ursache von der Beschaffenheit, daß sie nach dem Verbrauch des ersten verdichteten Teiles neue Mengen der Ausgangsstoffe verdichtet, so werden auch diese schnell reagieren, und so fort; das Ergebnis ist eine Beschleunigung der Reaktion. Eine solche Wirkung seitens des Platins auf die Gase ist ganz wohl möglich.

Ich möchte auch mit dieser Darlegung nicht behaupten, daß die Platinkatalysen wirklich auf solche Weise erfolgen, sondern nur eine Möglichkeit darlegen, wie sie stattfinden könnten. Wir hätten dann hier den einfachsten und reinsten Fall der beschleunigenden Zwischenreaktion, auf den ich bereits früher hingewiesen habe.

Wie Prof. Bredig mir jüngst mündlich dargelegt hat, läßt

sich an einem flüssigen Mittel, in welchem kleine Massen einer anderen Flüssigkeit suspendiert sind, der Mechanismus einer solchen Beschleunigung erläutern. Wenn diese suspendierte Flüssigkeit die Eigenschaft hat, daß in ihr die Reaktion der vorhandenen Stoffe schneller stattfindet, als in der Hauptmasse, so würden zunächst die dort befindlichen Anteile der Reagentien sich umwandeln. Es würde das Produkt in die äußere Flüssigkeit hinausdiffundieren, und ebenso würden neue Mengen der Reagentien hineintreten, da durch die Diffusion die Konzentrationen der verschiedenen Stoffe immer wieder ausgeglichen werden. Es würde hierdurch nacheinander die ganze Menge der Reagentien den Weg durch die suspendierte Flüssigkeit nehmen und dort reagieren; das Ergebnis ist eine Beschleunigung der Reaktion.

Was hier dargelegt wurde, läßt sich nach Bredig vielleicht auch auf den Fall anwenden, daß der Katalysator im kolloidalen Zustande in der Flüssigkeit vorhanden ist. Bekanntlich hat Prof. Bredig mit seinen Schülern in einer Reihe ausgezeichneter Arbeiten die mannigfaltigen und energischen katalytischen Wirkungen gezeigt und gemessen, welche das von ihm hergestellte kolloidale Platin und andere kolloidale Metalle ausüben können. Auch hat er wiederholt betont, daß die natürlich vorkommenden, so überaus wirksamen Katalysatoren, die Enzyme, sich gleichfalls immer im Zustande kolloidaler Lösung oder Suspension befinden.

Auch diese Betrachtungen haben keinen anderen Anspruch, als den, experimentell prüfbare Vermutungen zu sein. Ich möchte aber nicht unterlassen, ihre Aufmerksamkeit darauf zu lenken, daß erst die Auffassung der Katalysatoren als Beschleuniger es ermöglicht hat, überhaupt solche wissenschaftlich prüfbare Vermutungen aufzustellen. Man versuche einmal, ähnliches mittels Molekularschwingungen zu erreichen.

4. Die Enzyme.

Daß die Verzuckerung der Stärke durch Säuren der durch Malzauszug an die Seite zu stellen ist, war für Berzelius keinem Zweifel unterworfen. Die gleiche Auffassung hatten Payen und Persoz, welche den wirksamen Stoff, die Diastase, isolierten oder wenigstens in konzentrierter Gestalt herstellten. Das gleiche gilt für Liebig und Wöhler, die in einer ausgezeichneten Arbeit die Zersetzung des Amygdalins unter dem katalytischen Einflusse des Emulsins studierten.

Auch haben die neueren Untersuchungen über die Gesetze der Enzymwirkungen meines Erachtens nichts ergeben, was irgend einen grundsätzlichen Unterschied zwischen beiden Arten der Wirkung aufzustellen Veranlassung gäbe. Im Gegenteil, die bereits erwähnten Arbeiten Bredigs haben weit eingehendere Übereinstimmungen erkennen lassen, als sich vermuten ließ.

Wir werden also in den Enzymen Katalysatoren sehen, welche im Organismus während des Lebens der Zellen entstehen, und durch deren Wirkung das Lebewesen den größten Teil seiner Aufgaben erledigt. Nicht nur Verdauung und Assimilation wird von Anfang bis zu Ende durch Enzyme geregelt, auch die fundamentale Lebensbetätigung der meisten der Organismen, die Beschaffung der erforderlichen chemischen Energie durch Verbrennung auf Kosten des Luftsauerstoffs, erfolgt unter entscheidender Mitwirkung von Enzymen und wäre ohne diese unmöglich. Denn der freie Sauerstoff ist, wie bekannt, ein sehr träger Stoff bei den Temperaturen der Organismen, und ohne Beschleunigung seiner Reaktionsgeschwindigkeit wäre die Erhaltung des Lebens unmöglich.

Schon Berzelius hat auf die entscheidende Bedeutung hingewiesen, welche den Enzymen im Haushalte der Lebewesen zukommt. In der Tat, stellen wir die grundsätzliche Frage, was das physiko-chemische Kennzeichen den Lebenserscheinungen ist, so wird die Antwort sein: eine selbsttätig geregelte Beschaffung und Verwendung der chemischen Energie für die

Betätigung, Erhaltung und Vermehrung des Lebewesens. Nun haben wir drei verschiedene Mittel, die chemische Reaktionsgeschwindigkeit zu beeinflussen: die Temperatur, die Konzentration und die Katalyse. Von diesen dreien ist die erste für den Organismus nicht beliebig einstellbar; ja, wir sehen, daß die höheren Tiere, denen besonders verwickelte und fein geregelte Leistungen obliegen, sich von diesem Einflusse ganz frei machen, indem sie thermostatische Vorrichtungen ausbilden, mittels deren sie ihre Körpertemperatur innerhalb enger Grenzen konstant erhalten können. (25) Die Konzentrationen sind vielfach durch die Löslichkeit der Stoffe begrenzt; es bleibt als überall anwendbares Mittel zur Regelung der Reaktionsgeschwindigkeiten nur noch die Anwendung von Katalysatoren übrig, welche allerdings die Aufgabe mit idealer Vollkommenheit zu lösen gestatten.

Ich darf mich in diese physiologischen Fragen nicht vertiefen, wollte aber nicht unterlassen, auf die allgemeine Bedeutung der Katalyse nach dieser Richtung hinzuweisen. Dies scheint mir gerade zu unserer Zeit besonders notwendig. Da die älteren Kenntnisse und Begriffe der Chemie, die sich wesentlich auf die Darstellung und die systematischen und genetischen Zusammenhänge der Stoffe bezogen und die Gesetze des Gleichgewichtes und der Umwandlung derselben außer Betracht ließen, für die Erklärung der physiologischen Erscheinungen sich vielfach als unzulänglich erwiesen haben, so macht sich jetzt eine Auffassung geltend, als sei die Chemie und Physik überhaupt außer stande, zur Lösung des Rätsels vom Leben etwas Entscheidendes beizutragen. Hiergegen möchte ich mit allem Nachdruck darauf hinweisen, daß die physikalische oder allgemeine Chemie, in deren Gebiete diese Fragen zum allergrößten Teile fallen, eine sehr junge Wissenschaft ist. Diejenigen von Ihnen, welche 1892 die Heidelberger Naturforscher-Versammlung besucht haben, werden sich erinnern, daß sie sozusagen damals zum ersten Male eben als erwachsenes Mädchen an die Öffentlichkeit trat. Bisher hat sie noch so viel im eigenen

Hause zu tun gefunden, daß ihre Betätigung in den Nachbargebieten nur selten hat erfolgen können; auch darf nicht verschwiegen werden, daß manche unberufene Hand die hier vorhandenen Früchte hat pflücken wollen, ohne Verständnis, wie man mit ihnen umzugehen hat. Es ist meine volle wissenschaftliche Überzeugung, daß durch die neueren Fortschritte der Chemie der Physiologie eine Entwicklung bevorsteht, welche an Bedeutung der nichts nachgeben wird, welche Liebig seinerzeit durch die erste systematische Anwendung der chemischen Wissenschaft bewirkt hat. (26)

Was nun die Eigenschaften der Enzyme anlangt, so sind diese vorwiegend bisher qualitativ untersucht worden. Die quantitative Arbeit stößt auf große Schwierigkeiten, die in der Veränderlichkeit dieser Stoffe liegen, die meist mit dem Verluste der katalytischen Wirkung verbunden ist. Die bisher untersuchten Enzyme zeigen im wesentlichen die chemischen Eigenschaften der Eiweißstoffe, doch sind über die Frage nach ihrer chemischen Natur die Akten noch keineswegs geschlossen. Ich möchte meine Ansicht dahin aussprechen, daß bei eingehenderer Forschung Übergänge zwischen den eiweißartigen Produkten, an denen bisher Enzymwirkungen nachgewiesen worden sind, und den einfacher zusammengesetzten Stoffen der organischen Chemie sich werden finden lassen. So scheint beispielsweise die katalytische Beschleunigung gewisser Oxydationswirkungen, welche dem Hämoglobin eigen ist, auch in den eiweißfreien Abkömmlingen, insbesondere im Hämatin, noch erhalten zu sein, und eine Verfolgung dieser Verhältnisse in den Abbauprodukten des Blutfarbstoffes wäre von nicht geringem Interesse. (27)

In den wenigen Fällen, in denen der Geschwindigkeitsverlauf einer Enzymwirkung einigermaßen einwandfrei studiert worden ist, haben sich widersprechende Resultate gezeigt; während die einen Autoren eine weitgehende Übereinstimmung mit den einfachen Gesetzen gefunden haben, die für die anorganischen Katalysatoren gültig sind, konstatierten die anderen

Abweichungen. Einer mir vorliegenden, noch unveröffentlichten Untersuchung, der ich ein großes Zutrauen zu schenken geneigt bin, entnehme ich, daß in der Tat das Zeitgesetz der Enzymwirkung von dem einfachsten Schema der Reaktionsgeschwindigkeit abweicht; doch ist auch diese Frage noch keineswegs spruchreif. (28)

Die Frage nach dem Umfange der Stoffe, welche durch ein gegebenes Enzym nach einem gewissen Schema verändert (z. B. hydrolytisch gespalten) werden, ist gleichfalls erst in ihren Anfangsstadien begriffen, und es scheinen hier ähnliche Mannigfaltigkeiten vorzuliegen, wie bei den anderen Katalysatoren. Die schönen Untersuchungen von E. Fischer haben gezeigt, daß gelegentlich sehr geringe Verschiedenheiten, welche die heutige Chemie als stereochemische deutet, Verschiedenheiten in der Wirkung eines gegebenen Enzyms verursachen können. Ob dies mit einer etwaigen asymmetrischen Beschaffenheit des Enzyms selbst zusammenhängt oder auf anderen Gründen beruht, scheint mir noch nicht unzweideutig entschieden zu sein.

Meine Herren! Ich muß zum Schlusse eilen. Ich habe Ihnen nicht einigermaßen abgerundete Ergebnisse eines wohluntersuchten Gebietes vorlegen können, sondern habe meine Aufgabe darin suchen müssen, Ihnen weite Gebiete fruchtbaren Landes zu weisen, das nur hier und da die ersten Anfänge systematischer Bebauung zeigt, dessen Fruchtbarkeit und Wichtigkeit aber bereits außerhalb jedes Zweifels steht. Lag dies Land auch außerhalb der Gebiete, in denen die Chemie der Vergangenheit sich heimisch fühlte, so hat unsere rastlos vorwärts strebende Wissenschaft doch jetzt schon begonnen, mit ihren neuen Geräten den neuen Acker fruchtbar zu machen. Daß es nicht nur das chemisch-wissenschaftliche Interesse ist, welches hier die Arbeit dankbar macht, glaube ich Ihnen am Beispiel der physiologischen Anwendungen bereits gezeigt zu haben. Daß aber auch in technischer Beziehung die wissenschaftliche Kenntnis und Beherrschung der katalytischen Erscheinungen

unabsehbare Folgen haben muß, tritt schon jetzt bei der mehr zufälligen Anwendung dieses Hilfsmittels hervor. Der letzte große Triumph der deutschen technischen Chemie, die Synthese des Indigos, welche eben die wirtschaftlichen Verhältnisse ganzer Länder umgestaltet, enthält als einen wesentlichen Faktor eine neue Katalyse: die Oxydation des Naphtalins durch Schwefelsäure läßt sich nur bei Gegenwart von Quecksilber genügend schnell und glatt durchführen. Daß die Schwefelsäure selbst sowohl nach dem alten wie dem neuen Verfahren auf katalytischem Wege gewonnen wird, brauche ich nur zu erwähnen. Überlegt man, daß die Beschleunigung der Reaktionen durch katalytische Mittel ohne Aufwand von Energie, also in solchem Sinne gratis vor sich geht, und daß in aller Technik, also auch in der chemischen, Zeit Geld ist, so sehen Sie, daß die systematische Benutzung katalytischer Hilfsmittel die tiefgehendsten Umwandlungen erwarten läßt. (29)

Meine Herren! Erlauben Sie mir, mit einer persönlichen Erinnerung zu schließen. Als vor vier Jahren das Leipziger physikalisch-chemische Institut in sein schönes neues Heim übersiedelte, ging ich nicht ohne Sorge der neuen Periode entgegen. Die eben abgeschlossene war so fruchtbar gewesen. Große Gebiete, wie die chemische Dynamik und die Elektrochemie, hatten grundsätzliche Förderungen erfahren, und es schien, als sollte für das neue Heim an Stelle der frischfröhlichen Eroberungszüge ins neue Land nur noch die nüchterne Aufgabe der Durcharbeitung des Gewonnenen übrig bleiben. Da sagte ich mir: ein Stückchen Urwald wenigstens müssen wir haben, und das Glück des Vordringens ins möglichst Unbekannte wollen wir um keinen Preis missen. Und von allen Richtungen, die wir zu diesem Zweck einschlagen konnten, schien mir keine dankbarer und hoffnungsreicher, als die Katalyse. Ich hoffe auch Sie, meine Herren, überzeugt zu haben, daß ich mich in dieser Wahl nicht getäuscht hatte.

II

ELEKTROCHEMIE

I

BETRACHTUNGEN ZUR GESCHICHTE DER WISSENSCHAFT

(Einleitung aus „Die Elektrochemie, ihre Geschichte und Lehre“, Leipzig 1896.)

1. Das Problem. Wenn in den ruhigen Fluß der wissenschaftlichen Entwicklung gelegentlich eine den früheren Anschauungen völlig widersprechende Tatsache von erheblicher Bedeutung geworfen wird, so vollzieht sich eine der merkwürdigsten Wandlungen. Während das geringfügigere Neue, wie es der Tag bringt, entweder aufgelöst und angepaßt wird, oder, wenn es für den augenblicklichen Zustand zu abweichend ist, als fremder Körper zu Boden sinkt, um dort, vom Niederschlage der Zeiten bedeckt, erst spät oder nie zur Wirkung zu gelangen, übt das bedeutende Neue alsbald einen sichtbaren Einfluß auf den ganzen Zustand aus. Eine heftige Bewegung der Ideen herüber und hinüber tritt ein, und über kurz oder lang kristallisiert das Produkt der Wechselwirkung in Gestalt einer Theorie aus, welche den Zweck hat, das Neue gedanklich zu bewältigen und dem Bekannten anzuschließen.

Nur in den seltensten Fällen sind die Verhältnisse so günstig und ist die Kristallisationskraft der neuen Gedankenreihe so groß, daß beim ersten Anschuß ein reines und beständiges Produkt erhalten wird. In der Regel enthält derselbe vielmehr zahllose Einschlüsse aus der Mutterlauge des zeit-

genössischen Gedankenkreises, in welchem er entstanden ist: oft in solcher Menge, daß die Beschaffenheit der Hauptsubstanz davon ganz verdeckt wird. Alsdann bedarf es langer Zeit und wiederholten Umkristallisierens, um das fremde Material auszuscheiden, und nicht selten zeigt es sich dann, daß das reinere Produkt ganz andere Gestalt besitzt, als der erste Anschuß, der sich gebildet hatte, nicht weil seine Form, absolut genommen, die beständigste, sondern weil sie zur Zeit seiner Bildung die nächstliegende, durch die Isomorphie bereits vorhandener ähnlicher Ideen hervorgerufene war. (30)

Wenn auch im Laufe der Zeit die Abscheidung der gröbsten Verunreinigungen gelingt, so lehrt doch die Erfahrung, daß, wie zu erwarten, der Reinigungsvorgaag nie zu einem absoluten Ergebnis führt, sondern seinem Endziel nur asymptotisch sich nähern kann, dergestalt, daß die Beseitigung des letzten Ungehörigen um so schwieriger wird, je weiter die Reinigung selbst schon gediehen ist. Gewisse Verunreinigungen lassen sich durch die wiederholte Anwendung ähnlicher Hilfsmittel überhaupt nicht beseitigen, und dann tritt leicht der Fall ein, daß dieselben für einen wesentlichen Bestandteil des reinen Produktes gehalten werden. Dies ist der Zustand, in welchem sich die meisten Gebiete der Wissenschaft befinden. Das einzige Hilfsmittel in diesem Falle ist ein völliger Wechsel des Verfahrens; große Änderungen in der allgemeinen wissenschaftlichen Anschauung, einer völligen Änderung des Kristallisationsmittels vergleichbar, haben regelmäßig den Erfolg, daß sie die Abscheidung erheblicher Irrtümer ermöglichen. Freilich währt es meist eine lange Zeit, bis dieses Verfahren auf jeden Teil des Vorhandenen Anwendung gefunden hat, und zahllose Irrtümer dauern fort, nicht weil ihre Beseitigung mit den vorhandenen Mitteln unausführbar wäre, sondern weil man sich noch nicht entschlossen hat, die erforderlichen Operationen vorzunehmen.

Diese beiden Faktoren, das Gesetz des Isomorphismus, welches die Neubildung, und das Trägheitsgesetz oder Be-

harrungsvermögen, welches den Fortbestand der Ideen in den wesentlichen Zügen bestimmt, lassen sich bei jedem geistigen Entwicklungsvorgang nachweisen, und die Kenntnis ihrer nie ausbleibenden Wirksamkeit ist die wesentlichste Vorbedingung zum Verständnis des Werdens und Seins geistiger Dinge. In besonders durchsichtiger Gestalt lassen sich diese Faktoren in der Entwicklung der Wissenschaften, vorwiegend der Naturwissenschaften, erkennen. Denn im Gegensatz zu den politischen, sozialen und künstlerischen Gebieten hat man es hier mit Erscheinungen zu tun, deren Verlauf, durch wenige durchsichtige Motive bestimmt, auf ein wohlbekanntes, allen gemeinsames Ziel gerichtet ist, und deren Ergebnisse in Gestalt der entdeckten Gesetze spezielleren oder allgemeineren Charakters sich leicht aufweisen und sogar einigermaßen zahlenmäßig schätzen lassen. Dazu kommt, daß für die meisten dieser Gebiete die eigentliche Entwicklungsgeschichte erst ziemlich spät, vor höchstens drei oder vier Jahrhunderten beginnt, so daß die Quellen zu ihrer Geschichte in der wissenschaftlichen Zeitliteratur weder schwer zugänglich, noch auch eines ausgedehnteren kritischen Apparates bedürftig sind. Alle diese Umstände vereinigen sich, um das Studium der geschichtlichen Entwicklung der Wissenschaft zu einem besonders wert- und reizvollen zu machen, und es darf die Überzeugung ausgesprochen werden, daß, wenn irgendwo die vorbildlichen Fälle gefunden werden können, an welchen einfache und durchgreifende Gesetze des geschichtlichen Werdens nachweisbar sind, die Geschichte der Naturwissenschaften sie darbieten wird.

Ich habe deshalb in dem vorliegenden Buche versucht, einen derartigen Fall in seinen Einzelheiten so sachgemäß und treu zu schildern, als ich es vermag. Die Geschichte der Elektrochemie erscheint unter den angegebenen Gesichtspunkten von besonderem Interesse, weil hier die einzelnen Bestandteile des Entwicklungsprozesses sich mit besonderer Deutlichkeit sondern; der Beginn der entscheidenden Fortschritte nach lange voraus-

gegangenem Stillstand, die Erfindung der Voltaschen Säule und die Entdeckung ihrer chemischen Wirksamkeit, läßt sich fast auf den Tag angeben, und das Interesse der wissenschaftlichen Welt wendet sich alsbald so lebhaft den neuen Erscheinungen zu, daß auch die Zufälligkeit, die in der besonderen Beschaffenheit der Personen liegt, die sich zunächst mit der Sache befassen, sehr vollständig ausgeschaltet wird. Auch fehlt es nicht an Berührungen mit anderen großen Aufgaben, welche die Zeit bewegen, und andrerseits sind die neuen Tatsachen so fremdartig und von dem Bekannten verschieden, daß sich der allmähliche Anpassungsprozess des Denkens aus den vorhandenen Formen in die dem Gegenstand angemesseneren nur langsam vollziehen konnte, und weithin eine Unterscheidung der beiden Bestandteile durchzuführen ist.

Eine derartige Darstellung erscheint gegenwärtig als besonders nützlich, da in jüngster Zeit erhebliche Fortschritte auf dem Gebiet gemacht worden sind, und der Kampf der Meinungen über ihre Bedeutung noch lange nicht abgeschlossen ist. Im Lichte der geschichtlichen Betrachtung wird es uns leichter werden, die Notwendigkeit, und daher die Berechtigung der letzten Entwicklungen zu begreifen, und andrerseits uns gegenwärtig zu halten, daß bei all den glänzenden Erfolgen der gegenwärtigen Anschauungen neben den in ihnen enthaltenen dauerhaften und entwicklungsfähigen Elementen auch vergängliche Bestandteile angenommen werden müssen, deren Erkennung und Beseitigung ebenso schwierig wie wichtig ist.

2. Was ist Wissenschaft? Ehe indessen an die Schilderung des Entwicklungsganges der wissenschaftlichen Elektrochemie gegangen werden kann, ist eine Verständigung über die Grundzüge wissenschaftlicher Entwicklung überhaupt erforderlich. Denn es herrscht über diese Frage noch mancherlei Unklarheit, welche nach Möglichkeit zu beseitigen ist, bevor die Untersuchung mit Nutzen vorgenommen werden kann.

Als letzter Zweck der Wissenschaft wird meist die Er-

forschung der Wahrheit bezeichnet. Insofern als jede wohlbeobachtete Tatsache eine Wahrheit ist, besagt diese Bestimmung zu wenig, denn die Aufgabe der Wissenschaft geht weiter als bis zur bloßen Feststellung des Tatsächlichen. Dieses Weitere hat zu verschiedenen Zeiten sehr verschiedene Benennung erfahren; von den Platonischen Ideen bis zum mathematisch formulierten Naturgesetz der modernen Forschung lassen sich alle möglichen Übergänge erkennen. Insbesondere läßt sich als Rest jener Platonischen Auffassung noch bis auf unsere Tage die Neigung verfolgen, in den Naturgesetzen etwas Höheres, über den Erscheinungen Stehendes zu sehen, dem die Erscheinungen „gehorchen" müssen. Dem gegenüber zeigt es sich gegenwärtig immer klarer, daß das Naturgesetz nicht über, sondern in den Erscheinungen zu suchen ist, daß es nicht den Zweck hat, zu dekretieren, was in einem gegebenen Falle geschehen soll, sondern anzugeben, was tatsächlich geschieht. In dieser nüchternen Auffassung der Naturgesetze ist ein Mann vorangegangen, welchem man bei aller Anerkennung seiner Verdienste doch oft und gern den Vorwurf zu weitgehender Spekulation gemacht hat: Julius Robert Mayer, der Entdecker des mechanischen Wärmeäquivalents. Seine Außerungen* lauten in dieser Beziehung ganz unzweideutig:

„Die wichtigste, um nicht zu sagen einzige Regel für die echte Naturforschung ist die, eingedenk zu bleiben, daß es unsere Aufgabe ist, die Erscheinungen kennen zu lernen, bevor wir nach Erklärungen suchen oder nach höheren Ursachen fragen mögen. Ist einmal eine Tatsache nach allen ihren Seiten hin bekannt, so ist sie eben damit erklärt, und die Aufgabe der Wissenschaft ist beendigt."

In besonders eindringlicher Weise ist der gleiche Standpunkt von G. Kirchhoff** in der Vorrede und dem ersten

* Bemerkungen über das mechanische Äquivalent der Wärme. Heilbronn 1864.

** Vorlesungen über mathematische Physik. Mechanik. Leipzig 1876.

Kapitel seiner klassischen Mechanik betont worden, und hat zu mancherlei Diskussionen Anlaß gegeben. Kirchhoffs Worte sind: „Aus diesem Grunde stelle ich es als die höchste Aufgabe der Mechanik hin, die in der Natur vor sich gehenden Bewegungen zu beschreiben, und zwar vollständig und auf die einfachste Weise zu beschreiben. Ich will damit sagen, daß es sich nur darum handeln soll, anzugeben, welches die Erscheinungen sind, die stattfinden, nicht aber darum, ihre Ursachen anzugeben."

Was hier von der Aufgabe der Mechanik gesagt ist, gilt für die gesamten messenden und beobachtenden Wissenschaften, wobei freilich die Bedeutung des Wortes „beschreiben" noch genauer festzustellen ist. Kirchhoff tut dies in der Folge;* nachdem er die Mechanik als die Wissenschaft von der Bewegung definiert hat, fährt er fort:

„Es soll die Beschreibung der Bewegungen eine vollständige sein. Die Bedeutung dieser Forderung ist vollkommen klar: es soll eben keine Frage, die in betreff der Bewegungen gestellt werden kann, unbeantwortet bleiben. Nicht so klar ist die Bedeutung der zweiten Forderung, daß die Beschreibung die einfachste sei. Es ist von vornherein sehr wohl denkbar, daß Zweifel darüber bestehen können, ob eine oder die andere Beschreibung gewisser Erscheinungen die einfachere ist: es ist auch denkbar, daß eine Beschreibung gewisser Erscheinungen, die heute unzweifelhaft die einfachste ist, die man geben kann, später bei weiterer Entwicklung der Wissenschaft durch noch einfachere ersetzt wird. Daß ähnliches stattgefunden hat, dafür bietet die Geschichte der Mechanik mannigfaltige Beispiele dar."

Entsprechend dem Bestreben, die beiden Forderungen der Vollständigkeit und Einfachheit zu erfüllen, vollzieht sich nun die Entwicklung der Wissenschaft. Die Vollständigkeit ist ein unbegrenzt entferntes Ziel, für welches es nur ein Annähern, kein Erreichen gibt, und die Einfachheit ist dem verdrießlichen

* A. a. O. S. 1.

Naturgesetz unterworfen, daß man auf das Einfachste immer erst zuletzt kommt. Indem man die Vollständigkeit in der „Beschreibung" der natürlichen Gegenstände und Vorgänge sucht, hat man den Weg zwischen den beiden Klippen zu finden, daß einerseits die sicher bekannten und daher in die „Beschreibung" aufnehmbaren Beziehungen sich nur über enge Gebiete erstrecken, andrerseits die für weite Gebiete versuchten Beschreibungen sich bei genauem Nachsehen als unzutreffend erweisen, indem Widersprüche und Ausnahmen sich herausstellen, durch welche die auf Grund der Beschreibung gegebenen Antworten auf gewisse Fragen sich als falsch erweisen.

Die Hilfsmittel der Beschreibung im Sinne Kirchhoffs, d. h. der wissenschaftlichen Darstellung, sind die Allgemeinbegriffe und die Naturgesetze. Aus der unendlichen Mannigfaltigkeit unserer Welt, in welcher niemals zwei Dinge oder Vorgänge in striktem Sinne gleich sind, werden Gruppen von Erscheinungen ausgeschieden, die untereinander möglichst geringe Verschiedenheiten aufweisen, und zunächst unter stillschweigendem oder ausdrücklichem Verzicht auf die Beachtung der letzteren mit bestimmten Namen belegt. Es liegt in der Natur der Sache, daß der Anteil des Übereinstimmenden zwischen den verschiedenen Gliedern einer Gruppe in umgekehrtem Verhältnis zur Größe der Gruppe stehen wird: in dem Maße, wie sich der Begriff äußerlich ausdehnt, verarmt er innerlich.* Die Wissenschaft hat nun die Aufgabe, diesen Gegensatz aufzuheben: möglichst umfassende Begriffe mit möglichst bestimmtem Inhalt zu bilden. Es geschieht dies durch die Naturgesetze, deren Wesen darin besteht, daß die unendliche Mannigfaltigkeit der formal denkbaren Möglichkeiten sich als tatsächlich mehr oder weniger eingeschränkt erweist, wodurch die allgemeinen Begriffe einen weit bestimmteren Inhalt erhalten, als ihnen ursprünglich zukam. So fallen die astronomischen

* Man betrachte z. B. die Reihe: Sperling, Vogel, Tier, Organismus, Ding.

Erscheinungen unter den Begriff der periodischen Bewegungen; durch das erfahrungsmäßige Naturgesetz, daß diese Bewegungen sich durch die Wirkung einer dem Quadrat der Entfernung umgekehrt proportionalen Kraft darstellen lassen, ist die vollständige Beschreibung derselben auf die Ermittlung einer kleinen Anzahl konstanter Zahlen zurückführbar geworden, und wir können jeder neu beobachteten derartigen Erscheinung, die wir als eine Bewegung erkennen, mit der Erwartung gegenübertreten, daß auch sie sich auf diese besondere Weise wird beschreiben lassen. Wie bekannt, ist gerade im astronomischen Gebiet diese Erwartung ausnahmelos in Erfüllung gegangen.

Die Wirksamkeit solcher Naturgesetze in der Einschränkung des Möglichen auf das Tatsächliche ist nun außerordentlich verschieden, und nach dem Betrag dieser Reduktion bemißt sich die Bedeutung des fraglichen Gesetzes.

In mathematischer Zeichensprache stellt sich die Bildung des Naturgesetzes so dar, daß zunächst zwischen irgendwelchen Größen $a, b, c, \ldots$ ein gegenseitiger Zusammenhang entdeckt wird, so daß man die Existenz einer Gleichung von der allgemeinen Gestalt

$$f(a, b, c, \ldots) = 0$$

erkennt, wo f eine unbekannte Funktion der dahinter stehenden Größen bedeutet. Die erste Aufgabe besteht darin, sämtliche Glieder $a, b, c, \ldots$ kennen zu lernen, welche sich gegenseitig bedingen, derartig, daß bei der Änderung einer der Größen die anderen sich gleichzeitig ändern. Die Kenntnis des Umstandes, daß ein solcher Zusammenhang besteht, bedingt die Aufstellung eines allgemeinen Begriffs. Gelingt es nun, zwischen zwei oder mehreren Gliedern $a, b, c, \ldots$ einen bestimmten, durch eine Gleichung mit numerischen Koeffizienten darstellbaren Zusammenhang aufzufinden, so ist dadurch von den zahllosen möglichen Funktionen, welche in die ursprüngliche allgemeine Gleichung $f(a, b, c, \ldots) = 0$ treten können, die tatsächlich gültige

bestimmt, und aus der unbestimmten Gleichung wird eine bestimmte. (31)

Der Weg, um zur Lösung dieses Problems zu gelangen, ist immer der gleiche: man ändert eine der Größen, z. B. *a*, und beobachtet messend die Änderung, welche eine andere, z. B. *b*, dabei erfährt, wobei man, um den etwaigen Einfluß anderer Größen, *c*, *d* . . . auszuschalten, diese konstant erhält. Ist diese Aufgabe erledigt, so untersucht man eine weitere Beziehung, z. B. die zwischen *b* und *c*, und so fort, bis für alle Veränderlichen die gegenseitige Abhängigkeit gefunden ist. Von diesem normalen Wege finden sich in der Wissenschaft insofern Abweichungen, als häufig nach der Analogie oder aus anderen Gründen Beziehungen als vorhanden angenommen werden, welche tatsächlich ganz andere Form haben; derartige, mit dem Schein des „Selbstverständlichen“ umkleidete Trugschlüsse sind häufig, und es ist oft schwer, sich auf ihre Beschaffenheit zu besinnen.

Wenn man das soeben dargelegte Schema betrachtet, so mag nichts einfacher erscheinen, als durch passende Experimente die vorhandenen Beziehungen zu ermitteln, und man fragt sich, wie es kommt, daß die Wissenschaft so langsam fortschreitet, da doch das Rezept gegeben ist, nach welchem auf dem geradesten Wege der Fortschritt zu bewerkstelligen ist. Die Antwort liegt in dem zweiten Teil der Forderung, welche Kirchhoff an die Mechanik und somit an die gesamte Wissenschaft stellt: die Beschreibung, d. h. der Nachweis der vorhandenen Beziehungen, soll auf die einfachste Weise erfolgen. Da aber, wenn die Größen *a*, *b*, *c* . . . für ein bestimmtes Erscheinungsgebiet gegeben sind, die Form ihrer Beziehungen feststeht, und nur aufgefunden zu werden braucht, so scheint überhaupt keine Wahl, keine Möglichkeit, eine vorhandene Beziehung zu vereinfachen, gegeben zu sein. Die Antwort ist, daß die Wahl, und damit auch die Qual, in der Aufstellung der Größen *a*, *b*, *c*, . . . selbst gelegen hat. Es ist allerdings ausgeschlossen,

daß, nachdem die Veränderlichen $a, b, c, \ldots$ einmal bestimmt sind, verschiedene Beziehungen von verschiedenen Graden der Einfachheit zwischen ihnen möglich sind; wohl aber bleibt die Frage offen, ob nicht die vorhandenen oder noch aufzufindenden Beziehungen eine einfachere Gestalt annehmen, wenn an die Stelle der Größen $a, b, c, \ldots$ andere, $\alpha, \beta, \gamma, \ldots$ gesetzt werden, welche sich auf das gleiche Tatsachengebiet beziehen, wie jene ersten.

So wissen wir, um dafür ein Beispiel zu geben, daß das Volumen eines Gases durch Änderung seines Wärmezustandes geändert wird. Soll das Gesetz hierfür gefunden werden, so kann man etwa als zweite Veränderliche neben dem Volumen die Wärmemenge wählen, welche man dem Gase zu- oder abführt. Führt man die Versuche aus, so findet man bei einzelnen Gasen, daß die Änderungen beider Größen einander proportional sind, bei anderen sind sie es nicht; der Proportionalitätsfaktor ist für einige Gase gleich, für andere verschieden, kurz, es ergibt sich kein einfaches oder allgemeines Naturgesetz, und unsere „Beschreibung" der Erscheinung muß auf der primitiven Stufe einer Tabelle stehen bleiben. Ganz anders wird das Bild, wenn wir an Stelle der Wärmemenge eine andere Wärmegröße setzen, nämlich die Temperatur. Vergleicht man die gleichzeitigen Änderungen dieser und des Volumens, so findet man, daß beide einander proportional verlaufen, und daß der Proportionalitätsfaktor unabhängig von der Natur des Gases ist. An die Stelle der früheren Mannigfaltigkeit ist die größte Einfachheit getreten, und die wissenschaftliche Beschreibung hat einen sehr erheblichen Fortschritt gemacht.

In der geeigneten Wahl des Veränderlichen, d. h. in der begrifflichen Analyse der Erscheinung, liegt also der wesentlichste Umstand für den wissenschaftlichen Fortschritt, und für diese lassen sich allerdings nicht allgemeine Regeln aufstellen. Hier ist das Gebiet, in welchem die Phantasie den Boden absucht, während der kritische Scharfsinn die Beute zu prüfen und

zu erlegen hat. Wie oft dabei eine Katze für einen Hasen geschossen wird, das wissen die Götter!

3. Die Elektrochemie. Die soeben geschilderten allgemeinen Verhältnisse in der Entwicklungsgeschichte der Wissenschaft lassen sich in jedem einzelnen Falle mehr oder weniger deutlich nachweisen. Die Geschichte der Elektrochemie bietet aber in dieser Beziehung eine besondere Vielseitigkeit, weil ihre Probleme auf zwei verschiedenen großen Gebieten, der Elektrik und der Chemie, liegen. Hierdurch wird die gegenseitige Abhängigkeit der wissenschaftlichen Fortschritte ungemein deutlich gemacht; wir sehen, wie über dieses Grenzgebiet hinweg die beiden Disziplinen einander immer wieder beeinflussen und befruchten, zunächst, ohne daß lebensfähige Produkte erzeugt werden können. So tritt die elektrochemische Theorie der chemischen Verbindungen auf, um wieder zu verschwinden, und der Streit um die Kontakttheorie oder die chemische Theorie der Voltaschen Ketten verzehrt eine Unsumme von Zeit, Kraft und Papier, ohne zu einem unzweifelhaften Ende gebracht werden zu können. Die schnelle und glänzende Entwicklung der physikalischen Theorie der elektrischen Erscheinungen hat lange Zeit keine andere Wirkung, als die Unklarheiten und Widersprüche der chemischen Probleme zu vermehren, und erst in jüngster Zeit, nachdem endlich auch eine quantitative Theorie der chemischen Wirkungen reif geworden ist, vermögen beide sich in dem Maße zu befruchten, daß das lange mit zweifelhaftem Erfolg bebaute Feld des Segens die Fülle bringt.

Eine zusammenfassende Darstellung der Entwicklungsgeschichte der wissenschaftlichen Anschauungen auf diesem Gebiete darf demnach von vornherein das Interesse sowohl des Chemikers wie des Physikers beanspruchen. Dazu kommt, daß kaum ein anderer Teil in der Geschichte der Wissenschaft so viel allgemein Lehrreiches in bezug auf die Entwicklung der wissenschaftlichen Erkenntnisse enthält. Nirgends treten

so deutlich die unsäglichen Mühen und Wehen zu tage, unter denen ein klarer Gedanke sich ans Licht ringt, nirgends kann man so sicher die mannigfaltigen und oft wunderlichen Wege verfolgen, die der menschliche Geist zu gehen verurteilt ist, bevor er an sein Ziel gelangt, das unserem rückschauenden Auge in unmittelbarster Nähe liegend erscheint.

Die Ursache dieser Art der Entwicklung liegt darin, daß die ersten Versuche, die Natur gedanklich zu erfassen, nicht an den Problemen gemacht werden, welche am leichtesten zu lösen sind, sondern an denen, welche sich dem forschenden Geiste am dringendsten entgegenstellen. So beginnen die griechischen Philosophen ihre Untersuchungen nicht mit der Frage nach der Entstehung beispielsweise des Regens, sondern mit der nach der Entstehung der Welt. So wurde das biologische Problem nicht so gestellt: wie setzt sich das Leben von heute auf morgen fort? sondern: was ist das Leben, und wie ist es entstanden?

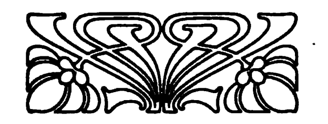
Auch in dem besonderen Gebiete, das wir betrachten wollen, in der Elektrochemie, sind die Ausgangspunkte äußerst dunkle und schwierige gewesen. Im Jahre 1790 beobachtet der Arzt Aloysio Galvani in Bologna, daß die Schenkel eines toten Frosches zucken, wenn in ihrer Nähe aus dem Konduktor einer Elektrisiermaschine ein Funke gezogen wird. Er setzt diese Versuche fort und findet, daß ähnliche Zuckungen hervorgerufen werden, wenn er Nerven und Muskeln eines enthäuteten Frosches durch metallene Bogen verbindet. Alsbald erscheinen ihm diese beiden Teile wie die Belegungen einer Leidener Flasche, und er gelangt zu der Überzeugung, daß der Organismus beständig Elektrizität hervorbringe, ja daß die Elektrizität das Lebensprinzip im Organismus sei. Das Problem, welches er in diesen Erscheinungen sieht, ist ihm ganz und gar ein biologisches.

Es ist bekannt, daß die Frage Galvanis nach dem Zusammenhange der elektrischen Erscheinungen mit denen des

Lebens trotz der hundertjährigen Arbeit im wesentlichen noch unbeantwortet ist, daß aber die Forschung, welche von der Beobachtung Galvanis ihren Ausgang genommen hat, die Lehre von der strömenden Elektrizität oder vom Galvanismus, zu den glänzendsten Gebieten der physikalischen Wissenschaften gehört. Es geschah dies durch stufenweises Herabsteigen von der Höhe der ersten Fragestellung.

Volta machte sich zunächst langsam und mühsam von der Herrschaft des präparierten Froschschenkels frei, indem er in seinem früher erfundenen Kondensator ein Mittel zur Erkennung der geringen elektrischen Erregungen besaß, welche bis dahin nur mittelst jenes physiologischen Hilfsmittels der Beobachtung zugänglich waren. So vermochte er den Galvanischen Versuch auf die für ihn einfachste Gestalt der Verbindung von drei Leitern, von denen zwei der einen, der dritte der anderen Klasse derselben angehört, zurückzuführen.

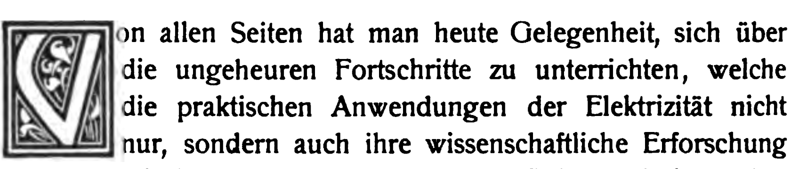
Diese Analyse ist dann von Volta weiter zu führen versucht worden, indem er den Sitz der beobachteten elektrischen Spannungen an die Berührungsstelle der Metalle verlegte. Dies Problem, die einzelnen Spannungsunterschiede an den verschiedenen Berührungsflächen zu ermitteln, hat dann seit Voltas Tagen bis heute die Forschung in Atem gehalten.



2

BILDER AUS DER GESCHICHTE DER ELEKTRIK

(Vortrag, gehalten im Januar 1897 in Leipzig.)



Von allen Seiten hat man heute Gelegenheit, sich über die ungeheuren Fortschritte zu unterrichten, welche die praktischen Anwendungen der Elektrizität nicht nur, sondern auch ihre wissenschaftliche Erforschung macht. Elektrisches Licht und elektrische Bahnen sind uns bereits etwas ganz gewöhnliches, ebenso das elektrisch dargestellte Aluminium; und auch die mit größtem Eifer täglich von der Tagespresse uns neu aufgetischten Röntgenschen Strahlen sind, wie Sie ja alle wissen, elektrischen Ursprungs.

Nun kennen Sie alle, meine verehrten Damen und Herren, die treffende Definition, mit der die fliegenden Blätter die Männer meines Berufes gekennzeichnet haben: ein Professor ist ein Mann, welcher anderer Meinung ist. In der Tat ist dies vollkommen richtig; es ist täglich unsere Aufgabe, einerseits die „selbstverständlichsten" Dinge daraufhin anzusehen, ob sie nicht eigentlich ganz anders sind, als man sie sich bisher gedacht hat, andrerseits Dinge anzusehen und hervorzuziehen, deren eben alles den Rücken gewandt hat.

So bitte ich denn auch heute um die Erlaubnis, „anderer Meinung zu sein", indem ich in Abwendung von der modernen Elektrik Sie bitte, mich um hundert Jahre zurückzubegleiten,

und sich in die Ereignisse zurückzuversetzen, welche damals trotz der uns heute kindlich erscheinenden Bescheidenheit und Langsamkeit der Tagespresse die Gemüter nicht weniger, und vielleicht mit mehr Grund in Bewegung setzten, als heute die Röntgenschen Strahlen.

In der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts war die Elektrizität keineswegs eine unbekannte Größe. Elektrisiermaschinen, welche durch Reibung von Glasplatten ganz stattliche Funken erzeugten, waren lange bekannt. Auch kannte man die Unterschiede der verschiedenen Stoffe in ihrer Fähigkeit, die elektrischen Wirkungen fortzuleiten, oder sie zu bewahren, zu isolieren. Durch einen Zufall hatten mehrere mit der Elektrizität beschäftigte Forscher die Verstärkung der elektrischen Wirkungen in der Kleistischen oder Leidner Flasche gleichzeitig kennen gelernt; und der Versuch, der heute zum Jubel der Schule einmal in jedem Jahre angestellt wird, eine mäßige Entladung durch den menschlichen Körper zu leiten, hatte bei einem seiner unfreiwilligen Entdecker, Musschenbroek, einen so schreckhaften Eindruck hervorgerufen, daß er schrieb, um die Krone Frankreichs wolle er sich einem solchen Schlage nicht zum zweiten Male aussetzen. Indessen befand sich die ganze Angelegenheit noch ziemlich in ihrer Kindheit. Ein Beweis dafür ist der sehr bedeutende Fortschritt, den sie durch das Eingreifen von Benjamin Franklin machte, der ohne jede gelehrte Bildung, als Buchdrucker, Schriftsteller und Papierhändler sich in seinen Mußestunden mit der Elektrizität beschäftigte, und dabei einen wesentlichen Grund zur wissenschaftlichen Kenntnis der Elektrizitätslehre legte.

Die berühmteste Entdeckung, welche Franklin machte, ist der Beweis, daß der Blitz wirklich, wie er vermutete, eine elektrische Entladung ist. Franklin erzählt in seiner überaus interessanten Selbstbiographie, die leider gerade über die Geschichte seiner wissenschaftlichen Arbeiten nur sehr wenig bringt, wie er sich heimlich mit seinem Drachen auf das Feld

geschlichen habe, um den Versuch anzustellen, aus dessen Schnur elektrische Funken zu ziehen, und wie er die Begegnung mit einem Bekannten dabei gefürchtet habe, weil er dadurch dem öffentlichen Gespötte verfallen wäre. Auch dies ist ein charakteristischer Zug der Entdeckertätigkeit: ein solcher Mann darf keine Angst vor dem Absurden haben. Es gab um jene Zeit wahrscheinlich keinen anderen Menschen in Philadelphia, ja vielleicht in ganz Amerika, der nicht ein ungeheures Gelächter aufgeschlagen hätte, wenn er Franklin bei seiner Tätigkeit gesehen hätte; und jeder, den er gefragt hätte, würde nicht gezögert haben, ihm zu sagen: das ist barer Unsinn! Gegen solche allgemeine Urteile gewappnet zu sein, ist nicht leicht; und es gehört nicht nur ein Zweifel an der allgemeinen Ansicht, sondern darüber hinaus eine sehr feste Überzeugung von der Richtigkeit der eigenen abweichenden Anschauungen dazu, um alle die Unannehmlichkeiten zu riskieren, welche mit dem tätigen Vorgehen in der scheinbar absurden Richtung verbunden sind. Hieraus sehen Sie besonders deutlich, daß außer den intellektuellen Fähigkeiten noch sehr entwickelte moralische dazu gehören, damit eine erhebliche Entdeckung zu stande kommt.

Wie Sie alle wissen, gelang der Versuch, und Franklin säumte nicht, ihn bekannt zu machen. Damit war er aber erst recht auf den Dornenweg geraten, denn der berühmteste Physiker in Frankreich, der Abbé Nollet, bewies alsbald klärlich, daß der Versuch unmöglich wäre. Franklin hielt sich als ein menschenkundiger und erfahrener Mann nicht lange mit einer Polemik gegen jenen auf, denn von anderen Seiten wurden die Versuche wiederholt, und es kamen alsbald Bestätigungen über Bestätigungen. Ja, ein junger, hoffnungsvoller Physiker, mein spezieller Landsmann Richmann in Petersburg, aus Pernau in Livland gebürtig, mußte einige Zeit darauf die elektrische Natur des atmosphärischen Agens mit seinem Leben bezeugen, denn er wurde bei Messungen des Betrages der

atmosphärischen Elektrizität, zu den er den ersten elektrischen Meßapparat, den die Welt gesehen, konstruiert hatte, durch eine starke Entladung, die vom Apparat auf seine Stirn übersprang, erschlagen.

Diese Entdeckung war die erste, welche eine Vorahnung von der ungeheuren Bedeutung gab, die der Elektrizität in der Gestaltung der Dinge auf der Erde zukommt. War hier eine der großartigsten natürlichen Erscheinungen der Elektrizität der wissenschaftlichen Erkenntnis zugänglich gemacht worden, so betraf die zweite große Entdeckung, deren Folgen sich viel weiter erstrecken sollten, als die jener ersten im Gegensatz dazu ein äußerst unscheinbares Experiment. Ja, die Sache liegt so, daß die Erscheinung, die den Ausgang der neuen Reihe glänzender Entdeckungen bildet, gar nichts besonderes, auch für die Kenntnisse jener Zeit, war. Ein gebildeterer Physiker als jener, hätte sich den Versuch alsbald erklärt, und damit wäre die Sache aus gewesen; der Entdecker aber wunderte sich über die Erscheinung, verfolgte sie weiter und tat dabei seinen großen Fund. Er ging aus, wie Saul, um seines Vaters Eselinnen zu suchen, und fand ein Königreich.

Ich brauche wohl kaum noch besonders zu sagen, daß ich von Galvani und seiner Entdeckung rede, die er die theirische Elektrizität genannt hat. Ich lege Ihnen hier die Abhandlung vor, in welcher Galvani die Entstehungsgeschichte und den Fortschritt seiner Entdeckung selbst mit aller nur wünschenswerten Treue und Aufrichtigkeit geschildert hat. Er bemerkt: Ich glaubte daher etwas zu tun, was der Mühe wert ist, wenn ich den Hergang meiner Entdeckungen kurz und genau in der Reihenfolge vortragen würde, wie sie mir teils Zufall und Glück darboten, teils Fleiß und Mühe gewinnen halfen: nicht nur, damit man nicht mir mehr als meinem Glück, oder meinem Glück mehr als mir zuschreiben möchte, sondern auch um denen, die die Versuche wiederholen wollen, eine Fackel zu reichen ... Die Sache fing so an. Ich sezierte einen

Frosch ... und legte ihn, mich alles anderen versehend, auf einen Tisch, auf dem eine Elektrisiermaschine stand ... Wie nun der eine von den Leuten, die mir zur Hand gingen, mit der Spitze des Messers die inneren Schenkelnerven des Frosches nur ganz leicht berührte, schienen sich alle Muskeln an den Gelenken wiederholt derart zusammenzuziehen, als wären sie von heftigen tonischen Krämpfen befallen. Der andere aber, der bei den Versuchen behilflich war, glaubte bemerkt zu haben, daß sich das ereignet hätte, während dem Konduktor der Maschine ein Funken entlockt war. Verwundert über diese neue Erscheinung machte er mich, der ich etwas ganz anderes vorhatte und in Gedanken versunken war, darauf aufmerksam. Daraufhin wurde ich von einem unglaublichen Eifer und Begehren entflammt, dasselbe zu erproben, und das, was darunter verborgen war, an das Licht zu ziehen."

Diese Geschichte ist in vielen Beziehungen außerordentlich lehrreich. Zunächst darin, daß sie uns ein Bild von den ersten Anfängen der Entdeckungen gibt. Wir sehen hier den Anteil des Zufalls abgesondert deutlich vor uns: Galvani hat nicht einmal selbst gesehen, was als Ausgangspunkt der ganzen Sache bezeichnet werden muß, sondern ist von seinem Mitarbeiter darauf aufmerksam gemacht worden. Die spätere Sage hat behauptet, dieser Mitarbeiter sei niemand anderes, als Galvanis Frau gewesen, und es ist uns ein Sonett erhalten, in welchem diese Tatsache poetisch verherrlicht wird, indem es heißt:

„Sie war's, nicht Du, die neue Lebenstriebe
In hautentblößter Frösche Gliedern fand!"

Nun, meine Damen, so gerne ich Ihnen diese Tatsache als Hilfsmittel in dem Kampfe für die Zulassung der Frauen zum Studium zur Verfügung stellen möchte, muß ich doch bemerken, daß sie dazu nicht ganz geeignet sein möchte. Denn wenn auch Frau Galvani kein Vorwurf daraus zu machen wäre, daß sie sich über die Sache gewundert hat, so ist ein solcher Vorwurf doch ihrem Gemahl zu machen. Um jene

Zeit waren die damals sogenannten Erscheinungen des Rückschlags der elektrischen Entladung, d. h. die Tatsache, daß bei der Entladung eines elektrisch geladenen Körpers in allen umgebenden leitenden Körpern sich gleichfalls elektrische Bewegungen geltend machen, keineswegs neu oder unbekannt; ebensowenig war unbekannt, daß durch elektrische Entladungen frische Muskeln zum Zucken gebracht werden können. Wenn also Galvani die Physik seinerzeit beherrscht hätte — er war Mediziner — so hätte er sagen müssen: „sehr nett, liebe Frau, aber die Sache ist nichts besonderes, sie hängt so zusammen" ... und er hätte ihr dann eine kleine Vorlesung halten müssen, von der ich annehme, daß sie sie mit derselben freundlichen Geduld angehört haben würde, die ich heute von meinen verehrten Zuhörerinnen erfahre. Aber zum Heile für die Wissenschaft verlief es anders. Ich meine nicht bezüglich der Geduld der Frau Galvani, sondern bezüglich der wissenschaftlichen Erklärung. Galvani kannte sie nicht, er vermutete etwas besonderes, und begann mit dem von ihm geschilderten unglaublichen Eifer und Begehren die Frage zu untersuchen.

Zunächst fand er nichts anderes, als was nach dem bereits bekannten vorauszusehen war, nämlich, daß der Frosch ableitend berührt sein muß, wenn er zucken soll; dies ist auch die Bedingung für einen „Rückschlag" unter den beschriebenen Verhältnissen. Der ganze erste Teil von Galvanis Arbeit bringt nichts, als diesen Nachweis, und wäre es bei diesem ersten Teil geblieben, so würden wir heute nichts von Galvani wissen.

Nun begann Galvani etwas, was fast wie eine Spielerei aussieht. Ich hatte schon erwähnt, daß nicht lange Zeit vorher die elektrische Natur des Blitzes nachgewiesen worden war. Galvani war gründlich genug, sich auch überzeugen zu wollen, daß die atmosphärische Elektrizität nicht minder auf den Frosch wirkt, wie sie auch die anderen Eigenschaften der künstlichen Elektrizität zeigt. Der Versuch war so überflüssig wie möglich, denn was war bekannter, als die physiologische Wirkung des

Blitzes: war doch jeder Fall der Lähmung oder Tötung durch Blitzschläge ein Beweis dafür. Aber Galvani stellte doch den Versuch an, und erhielt in der Tat unter Umständen Zuckungen, die von atmosphärischer Elektrizität herrührten. Ferner beobachtete er auch Zuckungen, wenn ein Gewitter am Himmel war, und da er vermutete, daß es sich dann um geringere Grade atmosphärischer Elektrizität handele, begann er diese Erscheinungen genauer zu studieren. Indessen konnte er nichts bestimmtes finden; die Zuckungen waren bald da, bald blieben sie aus, ohne daß irgend ein Zusammenhang mit dem Zustande der Witterung nachweisbar war.

Galvani hat diese Versuche, über die ich hier kurz berichtet habe, nicht etwa schnell hintereinander ausgeführt, sondern wie sich aus seinen Aufzeichnungen ergibt, handelt es sich mehr um gelegentliche Experimente, die sich durch fast zehn Jahre erstrecken. Die ersten rühren aus dem Jahre 1780 her, und die Versuche mit der atmosphärischen Elektrizität sind 1786 angestellt worden. Es macht also nicht den Eindruck, als hätte Galvani großes Gewicht auf seine Ergebnisse gelegt, was auch ganz den Verhältnissen entsprechend war. In dem Augenblicke aber, bis zu dem wir eben gelangt waren, hing das weitere Schicksal der Sache an einem Haare. Wie oft geschieht es, daß man Versuche aufgibt, die zu keinen recht klaren Ergebnissen führen wollen, weil man die Geduld verliert, oder weil es auch scheint, daß man seine Zeit mit aussichtsreicheren Arbeiten besser hinbringen könnte. In neunundneunzig Fällen ist das richtig, im hundertsten nicht. Es bleibt doch immer wahr, daß die Natur auch im kleinsten Ding und geringsten Phänomen ebenso vollständig ist, wie im größten, und daß dem eifrigen und unbefangenen Forscher an jedem Punkte der schönste Lohn werden kann. Auch Galvani experimentierte fort; hören wir, was er selbst berichtet.

„Da ich diese Zuckungen nur an der freien Luft beobachtet hatte, denn an anderen Orten waren noch keine Versuche an-

gestellt worden, so fehlte nicht viel, daß ich sie der atmosphärischen Elektrizität zugeschrieben hätte, die in das Tier kriecht, und sich dort anhäuft, um bei der Berührung des Hakens mit dem Eisengitter plötzlich zu entweichen. Denn es ist leicht, sich beim Experimentieren zu täuschen und zu meinen, das zu sehen und zu finden, was wir zu sehen und zu finden wünschen.

„Als ich aber das Tier in das geschlossene Zimmer gebracht, auf eine Eisenplatte gelegt und angefangen hatte, den in das Rückenmark gehefteten Haken dagegen zu drücken, siehe, da waren dieselben Zuckungen, dieselben Bewegungen! Dasselbe habe ich unter Anwendung anderer Metalle, an anderen Orten und zu anderen Stunden und Tagen wiederholt: mit demselben Ergebnis, nur daß die Zuckungen mit verschiedenen Metallen verschieden waren, bei den einen heftiger, bei den anderen langsamer. Schließlich kam uns in den Sinn, andere Körper, welche wenig oder gar nicht die Elektrizität leiten, nämlich Glas, Gummi, Harz, Stein oder Holz in trockenem Zustande dem Versuch zu unterwerfen; es trat nichts ähnliches ein und ließen sich keine Zuckungen oder Bewegungen beobachten. Natürlich erregte ein derartiges Ergebnis bei uns nicht geringe Verwunderung, und ließ die Vermutung aufsteigen, daß den Tieren selbst Elektrizität innewohne. Wir wurden in dieser Hinsicht bestärkt durch die Annahme einer sehr feinen Nervenflüssigkeit, welche unter der Erscheinung von den Nerven zu den Muskeln fließt, ähnlich dem elektrischen Strome in der Leidner Flasche."

Als ich die Abhandlung von Galvani zum ersten Male las, hatte ich, obwohl mir der Ausgang der Sache ja bekannt war, eine Empfindung, wie man sie haben mag, wenn man einen Nachtwandler seinen gefährlichen Weg gehen sieht. Wie oft kam er in Gefahr, abzustürzen, d. h. den Faden seine Entdeckung zu verlieren, und wie unerwartet, fast grotesk waren die Wendungen, die ihn immer wieder auf seinen Weg zurück-

führten. Hier sehen wir ihn endlich auf die richtige Bahn gelangen, die, einmal eingeschlagen, kaum mehr verlassen werden konnte. Wir sehen ihn die Bahn betreten, sehen ihn so weit darauf gehen, daß über ihre Richtung und Bedeutung kein Zweifel sein kann — und sehen ihn kurz vor erreichtem Ziel straucheln, abirren und schließlich den Preis des langen schweren Weges verlieren. Ja wir sehen ihn, diesen falschen Weg, den er schließlich eingeschlagen hat, mit dem größten Eifer für den richtigen erklären, wissenschaftliche Kämpfe der heftigsten Art zu seiner Verteidigung führen, wir sehen schließlich äußeres und inneres Unglück über den Mann hereinbrechen, so daß er nicht nur die Gattin und seine äußeren Stellungen verliert, sondern auch leiden muß, daß seine Ansicht über das Wesen seiner Entdeckung fast von allen verlassen wird, und die seiner Gegner zu alleiniger Herrschaft gelangt. Wahrlich ein Schicksal, das um so eher tragisch zu nennen ist, als auch hier die Schuld nicht fehlt, eine richtige tragische Schuld, die nicht im Verhältnis zu der Strafe steht.

Diese Schuld bestand in einem scheinbar geringen Versäumnis, das aber zu den weitesten Folgen führen sollte. Galvani hatte eine besondere Eigentümlichkeit der von ihm gefundenen Erscheinungen ganz wohl bemerkt und in seinem Berichte auch erwähnt, nämlich, daß die Wirkungen auf den Frosch viel stärker eintraten, wenn zwei verschiedene Metalle mit dem Muskel und Nerv seines Präparats in Berührung gesetzt wurde; da aber in der Ansicht, die er sich von der Sache gebildet hatte, eine Verschiedenheit der Wirkung infolge eines solchen Umstandes nicht vorauszusehen war, so hatte er sich begnügt, diese Beobachtung als „schätzbares Material“ der späteren Forschung zu überweisen, ohne sich in seinen Ansichten mit ihr auseinanderzusetzen.

Bevor ich indessen auf diese Dinge näher eingehe, möchte ich Ihnen die Erscheinungen, um die es sich handelt, unmittelbar vorführen. Wie schon bemerkt, sind es Bewegungen, die sich

an den abgetrennten Gliedern toter Tiere zeigen. Bekanntlich werden die Muskeln, die zur Ausführung der Bewegungen der Glieder dienen, zu ihren Leistungen durch die Wirkungen der Nerven veranlaßt, und es hat sich bei Galvanis ersten Versuchen nur darum gehandelt, daß der Nerv durch die Wirkung des elektrischen Stromes so beeinflußt wird, daß er die von ihm abhängigen Muskeln zur Tätigkeit veranlaßt. Dies war, wie bemerkt, eine altbekannte Tatsache, die aber, wie es scheint, so wenig wunderbar gefunden worden ist, daß sich nicht einmal ihr Entdecker nachweisen läßt; wenigstens ist dies Du Bois-Reymond, der die Geschichte der tierischen Elektrizität auf das eingehendste behandelt hat, nicht gelungen.

Ich habe nun hier einen nach den Regeln der Kunst präparierten Frosch, d. h. nur seine Unterschenkel, die mit einem Stück Wirbelsäule mittelst des Rückenmarks zusammenhängen; von dem letzteren aus kann ich eine ganze Anzahl Nerven, die zu den einzelnen Muskeln führen, reizen, da alle in das Rückenmark einmünden. Ich stelle nun den Versuch ganz wie Galvani an: hier ist ein Messingdraht, hier die eiserne Platte, auf die ich die Muskeln des Frosches lege; berühre ich nun mit dem Draht gleichzeitig die Nerven und die eiserne Platte, so bewegt sich alsbald das Beinpaar, genau so, als wenn ich eine elektrische Ladung durch den Nerven geleitet hätte.

Sehen wir nun, wie sich Galvani mit dieser Tatsache abgefunden hat. Er überzeugte sich zunächst, daß er es wirklich mit einer elektrischen Erscheinung zu tun hatte. Das war für seine Zeit nicht so einfach, wie für uns, und Galvani benutzte alsbald den auffälligsten Unterschied, über den er verfügte, den der elektrischen Leiter und Nichtleiter. Ich will auf die Schilderung seiner vielen Versuche hierüber nicht eingehen, genug, er überzeugte sich vollständig, daß alle Stoffe, welche die Elektrizität nicht durchlassen, auch die Wirkung auf den Frosch aufheben, wenn man sie in den Kreis zwischen Nerv, Muskel und Metall einschaltet, daß dagegen alle Leiter

der Elektrizität, selbst der Körper eines oder zweier Menschen, die Wirkung durchlassen. An diesem Nachweis hat auch die spätere Zeit nichts ändern können, wenn auch Zweifel an seiner Gültigkeit nicht gefehlt haben.

Bis hierher war Galvanis Weg vollkommen richtig gewesen. Nun aber entsteht die große Frage: wo kommt die Elektrizität her? Galvani hat sie beantwortet, fast ehe er sie gestellt hatte. Weil die Elektrizität die Zuckung des Muskels hervorbringt, wenn man sie auf den Nerven wirken läßt, so schloß er, daß überhaupt immer die Elektrizität wirksam ist, wenn der Nerv den Muskel erregt. Weil ferner zur Erzielung der von ihm beobachteten Wirkung ein guter Leiter der Elektrizität, insbesondere ein Metall zwischen Muskel und Nerv erforderlich ist, so schloß er weiter, daß die nötige Elektrizität bereits vorhanden ist, und nur des Leiters für ihre Ausgleichung bedarf. Er nahm also an, daß Muskel und Nerv die beiden Belegungen einer Leidner Flasche darstellen, deren Ladung sich ausgleicht, wenn sie durch einen Leiter der Elektrizität verbunden waren.

Es ist merkwürdig, zu sehen, wie wenig Galvani an die Prüfung dieser Annahme gedacht hat, von deren experimenteller Begründung die Haltbarkeit seiner ganzen Anschauung abhing. Anstatt daß er gar nicht genug Versuche über eben diese Frage ersinnen und ausführen konnte, finden wir in seiner Abhandlung nur einmal eine kurze, gelegentliche Bemerkung, aus welcher sich ein möglicher Zweifel an der Sache herauslesen läßt, und im übrigen behandelt er seine Hypothese als eine „selbstverständliche" Wahrheit.

Die Erscheinung, die wir hier beobachten, und die dem flüchtigen Beschauer so unerwartet erscheint, ist keineswegs eine Ausnahme; sie ist vielmehr eine ganz gewöhnliche Entwicklungsform bei der Entstehung der wissenschaftlichen Fortschritte. Auch sind ihre psychologischen Motive leicht erkennbar. Man versuche sich doch, die Stimmung eines Forschers

sich zu vergegenwärtigen, der durch eine Fülle neuer Erscheinungen seinen Weg sucht, ohne zu wissen, was der nächste Augenblick ihm zeigen wird: er wandert durch die Dinge, die er beobachtet, wie zur Nachtzeit im Walde; hat er eben einige Schritte frei gehen können, so stößt er im nächsten Augenblicke wieder an einen Baum, der ihn zwingt, immer wieder seine Richtung zu ändern. Da plötzlich blitzt ihm ein Licht auf; es leuchtet ihm über den zurückgelegten Weg, er sieht Zusammenhang und Folge in dem, was er Schritt für Schritt durchmessen hatte, und er versucht daher, in diesem Lichte auch seine weiteren Schritte zu tun. Siehe da, sie gelingen ihm! Alles fügt sich zunächst der Richtung, die seine Gedanken genommen haben. Heißt es da nicht, übermenschliches von ihm verlangen, wenn wir ihm die Forderung stellen, sich immer wieder zu sagen, daß das Licht trügerisch sein könne, daß seine Richtung zwar für die nächsten Schritte freie Bahn gebe, daß er aber möglicherweise sehr bald noch viel tiefer in die Finsternis geraten könne?

Dies sind die Gefühle des Entdeckers; ganz anders steht der Mann, der den gleichen Weg zu gehen beginnt, der Sache gegenüber. Er ist vor allen Dingen kritisch gestimmt; ihn würde es schwerlich kränken, wenn sich durch seine Versuche ergäbe, daß überhaupt an der ganzen Sache nichts ist. Ist er schon kritisch der Tatsache gegenüber, so ist er es doppelt dem Versuch der Erklärung oder Zusammenfassung. Jeder erste derartige Versuch hat notwendig seine Mängel. Ich habe eben schon zu schildern versucht, in welchem Maße dem Entdecker dieser Teil seines Geschäftes durch Umstände erschwert wird, die in der Natur der Sache liegen. Der zweite Mann leidet nicht unter diesen Schwierigkeiten; ja ein nur zu naheliegendes Gefühl wird ihn geneigt sein lassen, mit dem Entdecker, dem er die Ehre des ersten Fundes gönnen muß, doch wenigstens um die Ehre der richtigeren Auffassung zu ringen, und so wird sein Auge ganz besonders geschärft sein, die

Schwächen nach dieser Richtung zu erkennen und zur Geltung zu bringen. Ist er dann seinerseits bedeutend, so wird er etwas zu stande bringen, was dem unter den ungünstigen Umständen gemachten Versuche des ersten Entdeckers überlegen ist, und nun steht der Entdecker vor der großen Frage, ob er den neuen Gedanken anerkennen, oder auf seinem Standpunkte beharren will. Selten findet sich die Freiheit des Geistes, die erforderlich ist, zu sagen: ich habe zwar die Sache zuerst gesehen, du aber hast sie, nachdem ich sie dir gezeigt habe, richtiger gesehen, als ich. Vielmehr wird er in neun Fällen unter zehnen an dem Gedanken festhalten: habe ich die Augen gehabt, das Ding eher als alle anderen zu sehen, wie soll ich nicht die Augen gehabt haben, es auch richtiger zu sehen, als die anderen es können. Und dann beginnt ein tragisches Schicksal, dem nur wenige Entdecker oder Erfinder entgangen sind. Ihr Geisteskind wächst ihnen über den Kopf. Das, was ganz und gar Eigentum ihres Inneren war, solange es sie es für sich behalten hatten, beginnt ein eigenes Leben anzunehmen; es entwickelt sich selbständig, und fragt in der Richtung, die es nimmt, nicht nach den Absichten, die sein Erzeuger damit gehabt hat, ja gerät unter Umständen in unmittelbaren Widerspruch mit diesen Absichten. Das ist der Grund, weshalb gerade unsere größten Männer, wenn sie alt geworden sind, meist in Verbitterung, bestenfalls in Resignation dahingehen, weshalb kaum einer von ihnen, wenn er sich äussert über das, was er selbst ins Leben gerufen hat, den Ausdruck banger Sorge darum zurückhalten kann, ob es auch gedeihen mag, da es doch so anders geworden ist, als es gedacht worden war.

Was ich hier in großen Zügen zu schildern versucht habe, läßt sich im einzelnen in der Geschichte des Galvanismus nachweisen, die hier zur Geschichte des Voltaismus wird. Jener zweite Mann, der auf Galvanis Wegen zunächst bestimmend und als Anhänger zu wandern begann, um dann, durch die Gewalt der Tatsachen, und die eben beschriebenen psycho-

logischen Verhältnisse getrieben, sich allmählich in seinen schlimmsten Gegner zu verwandeln, war Alessandro Volta. Ihm verdanken wir den zweiten großen Schritt in der Entwicklung der Lehre von den elektrischen Strömen, den Nachweis von der rein physikalischen Natur der von Galvani entdeckten Erscheinungen.

Es war dies zunächst scheinbar ein starker Rückschritt, wenigstens in der Bedeutung des Problems. Galvani hatte es so großartig wie möglich aufgefaßt; für ihn waren die von ihm entdeckten Tatsachen der Schlüssel zum Geheimnis des Lebens, und die Elektrizität identisch mit dem Nervenfluidum oder dem Lebensgeiste. Volta dagegen behauptete, daß es sich garnicht um Lebensvorgänge handele; der Frosch sei für die Sache nicht wesentlich, sondern hat nur die Eigenschaft, ein sehr empfindliches Elektroskop, d. h. ein Hilfsmittel zur Entdeckung sehr kleiner Elektrizitätsmengen, zu sein; die Elektrizität selbst aber ist gar nicht im Frosch vorhanden, sondern entsteht erst durch den Versuch, und zwar dadurch, daß sich verschiedenartige Stoffe berühren, die Leiter der Elektrizität sind. Ich glaube, Sie werden es alle Galvani nachfühlen, in welchem Maße er durch diese Auffassung seine Entdeckung beeinträchtigt, ja ihres besten Inhaltes beraubt glaubte; der Protest, den er erhob, war nicht nur die eifersüchtige Behauptung des Rechtes des Erstgekommenen, sondern auch die Erregung des Propheten, der die von ihm verkündigte Lehre entheiligt und in den Staub gezogen sieht. Es begann ein Kampf, der sich durch viele Jahre hindurchzog; seinen Ausgang, der in einem vollen Siege Voltas bestand, habe ich Ihnen schon mitgeteilt.

Verfolgen wir die einzelnen Phasen dieses Kampfes etwas genauer: jede wird uns eine Fülle von Belehrung über das Wesen der wissenschaftlichen Entwicklung geben. Zuerst war Volta ganz derselben Ansicht, wie Galvani, ja, er gab sogar einen scharfsinnigen Versuch an, der diese Ansicht in „über-

raschender Weise“, wie wir heute sagen würden, unterstützte. Galvani hatte angenommen, daß Muskel und Nerv eine Art von Leidner Flasche, d. h. ein elektrisch geladenes Gebilde darstellen, und hatte die Frage, ob der Nerv positiv und der Muskel negativ sei, oder umgekehrt, vermutungsweise im ersteren Sinne beantwortet. Ein unmittelbarer Versuch war nämlich nicht ausführbar, daß die elektrische Ladung so gering war, daß keines der damals bekannten Hilfsmittel ausreichte, um ihr Zeichen nachzuweisen. Volta stellte nun folgende Überlegung an. Nehme ich zwei Leidner Flaschen, und lade sie in gleichem Sinne, so werden sie bei ihrer gegenseitigen Verbindung sich nicht entladen können, weil gleich geladene Körper sich eben nicht beeinflussen; sind die Flaschen dagegen im entgegengesetzten Sinne geladen, so muß eine Entladung eintreten. Ist nun der Frosch eine Leidner Flasche, so wird eine sehr schwach geladene andere Flasche dann keine Entladung, also auch keine Zuckung zeigen, wenn die Ladungen beider übereinstimmen; im anderen Falle sind sie entgegengesetzt geladen. Es gelang Volta in der Tat, einen solchen Unterschied nachzuweisen, und er schloß aus seinen Versuchen im Gegensatze zu Galvani, daß der Nerv negativ, der Muskel positiv ist.

Nun, meine Damen und Herren, es hat sich später herausgestellt, daß der Versuch zwar ganz richtig, seine Deutung aber falsch ist. Der hier vorhandene Unterschied ist eine Eigentümlichkeit der Nervenerregung durch die Entladung: der Nerv reagiert stärker auf einen in bestimmter Richtung verlaufenden Strom, als auf einen gleichen entgegengesetzten.

Nach meinem Urteil ist die Tatsache, daß sich Volta trotz dieser scheinbaren Bestätigung der Galvanischen Theorie, die ihm bei seinem ersten Schritte in dem Gebiete entgegentrat, doch Geistesfreiheit genug gewahrt hat, um nicht ein- für allemal von der Richtigkeit dieser Theorie überzeugt zu sein, sondern sich weiter mit ihrer Prüfung zu beschäftigen, ein glänzendes Zeugnis seiner wissenschaftlichen Begabung. Diese

weitere Prüfung führte alsbald dazu, daß für die elektrische Erregung unter den von Galvani angegebenen Umständen eine Ursache maßgebend war, die dieser zwar auch bemerkt, nicht aber genauer untersucht hatte: die Notwendigkeit, zwei Metalle anzuwenden.

Die mir zu Gebote stehende Zeit ist leider nicht ausreichend, um Ihnen eingehend die einzelnen Stufen zu schildern, welche Volta Schritt für Schritt zurücklegte, indem er immer weiter in das Wesen dieser Erscheinungen eindrang. Genug; er schloß im Jahre 1796, also gerade vor hundert Jahren, seine Arbeiten mit dem Ergebnis ab, daß immer bei der Berührung verschiedenartiger Leiter eine elektrische Erregung stattfindet, und daß die Galvanischen Erscheinungen am Froschpräparat nur hiervon, nicht aber von irgend einer tierischen Elektrizität herrühren.

Ich habe schon bemerkt, daß hiermit, wenigstens scheinbar, und in Galvanis und seiner Anhänger Augen, eine Erniedrigung und Versimpelung der Sache verbunden war. Aber denken wir etwas näher über diese Wendung nach, so werden wir einem solchen Urteile keineswegs beistimmen können. Das ist ja wahr: mit einer Wundererscheinung, die ausschließlich dem lebenden Körper angehört, haben wir es nicht mehr zu tun, wohl aber mit einer Tatsache von geradezu betäubender Allgemeinheit. Mehr oder weniger ist jeder Körper ein Leiter der Elektrizität; wo sich also irgend zwei Körper berühren, muß auch Elektrizität vorhanden sein. Dadurch ist keineswegs behauptet, daß im Organismus keine Elektrizität sich betätige; im Gegenteil: da sich dort überall verschiedenartige Körper berühren, muß überall Elektrizität erregt werden, und wenn dies das Lebensprinzip ist, so hat eine solche Theorie nun das Recht, das Vorkommen der Elektrizität im Körper als eine wissenschaftlich bewiesene Tatsache für ihre weiteren Entwicklungen zu benutzen. Solches geschah auch alsbald durch einen deutschen Forscher, Namens Wilhelm Ritter, einen jung gestorbenen, genialen Mann, der ein Buch unter dem Titel schrieb: Beweis,

daß ein beständiger Galvanismus den Lebensprozeß im Tierkörper begleitet.

Um diese Seite der Sache kümmerte sich Volta allerdings nicht, sondern nur um den physikalischen Nachweis der allgemeinen Tatsache der Berührungselektrizität. Hier hat er mit den rohen Mitteln seiner Zeit Bewunderungswürdiges geleistet, und seinen Satz über allen Zweifel hinaus bewiesen. Wohl konnte er im Jahre 1797 mit Befriedigung auf das Geleistete zurückblicken, und seine Aufgabe im wesentlichen als erledigt betrachten. In der Tat bemerkt er zum Schlusse seiner Mitteilungen ziemlich ironisch, daß das einzige, was ihm noch zu tun übrig bliebe, die möglichst anschauliche und glänzende Gestaltung der Versuche sei; dem Gelehrten genügen zwar die von ihm erwähnten Erscheinungen völlig zur Gewinnung der wissenschaftlichen Überzeugung, doch gebe es auch noch viele Leute, die recht deutliche und auffallende Vorgänge sehen wollen: große Bewegungen des Elektrometers, knallende Funken und dergleichen. Auch diese wolle er zu befriedigen suchen.

Und hier beobachten wir wieder eine ganz ähnliche Erscheinung, wie bei Galvani. Die Sache erschien fertig und es gab bei der vorhandenen Fragestellung eigentlich nichts mehr zu tun, als die eben bemerkte Befriedigung des Spieltriebes. Und doch sehen wir Volta in eine eifrige Arbeit sich versenken. Während er bisher jährlich mehrere Abhandlungen veröffentlicht hatte, schweigt er plötzlich drei Jahre lang, und tritt dann mit einer Entdeckung an die Öffentlichkeit, die den allerwesentlichsten Schritt vorwärts bedeutet, welcher sich in Voltas ganzer Tätigkeit findet.

Dieser Schritt geschah gerade auf dem Gebiete, von dem eben die Rede war: Volta bemühte sich, die ungemein schwachen elektrischen Erscheinungen bei der Berührung zwischen Metallen und feuchten Leitern deutlicher und stärker zu gestalten, und entdeckte dabei eine Anordnung, welche eine beliebige Steigerung der Wirkungen ermöglichte, und ganz ungeahnte

neue Gebiete der Forschung erschloß: er entdeckte die elektrische Säule, die seinen Namen trägt.

Wenn Sie sich, hochgeehrte Anwesende, ein Bild von der Bedeutung dieser Entdeckung machen wollen, so denken Sie sich in die Zeit zurück, in der es noch kein Feuer gab. Temperaturunterschiede, wie sie zwischen dem kühlen Quell und der warmen Luft bestehen, sind zwar vorhanden, größere aber nicht. Obwohl die Wärme überall verbreitet ist, und auch schon mancherlei Bedeutung für das Behagen des Menschen hat, sind doch diese geringen Unterschiede nicht ausreichend, um irgendwelche erheblichen Wirkungen hervorzubringen. Nun wird das Feuer entdeckt. Ein Mittel, die größten Veränderungen mit den Dingen der Außenwelt vorzunehmen, bietet sich plötzlich dar: man kann die Speisen sieden und braten, man kann Metalle schmelzen, man kann Wälder zerstören und Felsen zertrümmern; und alles nur durch den Umstand, daß an Stelle der längst bekannten kleineren Temperaturverschiedenheiten nun große verfügbar geworden sind. So groß ist der Einfluß, welchen der bloß graduelle Unterschied einer längst bekannten Erscheinung bewirken kann: mit seiner Erlangung beginnt eine neue Kultur. Ganz ebenso müssen Sie sich die Bedeutung von Voltas Entdeckung der Steigerung der elektrischen Berührungswirkung durch die Schichtung eines Apparates, in welchem sich solche Berührungen gesetzmäßig wiederholen, vorstellen. An und für sich erscheint es als eine Sache von lächerlicher Einfachheit, die Versuchsanordnung zu wiederholen, und durch Zusammensetzung vieler ähnlicher Apparate die Steigerung zu bewirken. Tatsächlich gehört eben ein Genie dazu, einen solchen einfachen Gedanken zu haben: denn das lehrt uns die Geschichte der Wissenschaft und der Technik beständig, daß man auf das einfachste immer erst zuletzt kommt.

Was Volta in jenen ironischen Bemerkungen vorausgesehen hatte, trat ein, und zwar im höchsten Maße. Während die älteren Untersuchungen ihm zwar in wissenschaftlichen Kreisen

große Anerkennung eingetragen hatten, waren sie doch kaum allgemeiner bekannt geworden. Anders wurde es, als er seine Säule beschrieben hatte. Diese gab Funken und Schläge und andere starke Zeichen der Elektrizität von einer Deutlichkeit, die nichts zu wünschen übrig ließ; um ihre Wirkungen zu sehen, bedurfte es keiner wissenschaftlichen Prüfung. Und sofort bemächtigte sich das große Publikum mit einem außerordentlichen Eifer der Sache; wer ein Paar Silberstücke entbehren konnte (die ersten Säulen wurden mit Silber gebaut), konstruierte sich eine Säule, und freute sich, wenn er bei der Berührung ihrer Enden mit den Händen einen Schlag erhielt, oder wenn bei der Verbindung durch einen Draht ein Fünkchen erschien. Volta selbst beschreibt ausführlich, wie seine Säule eine getreue Nachahmung des Zitterfisches sei, der bekanntlich elektrische Schläge erteilen kann, und wie man einen künstlichen Zitterfisch machen könne, wenn man die Säule in eine Hülle schließt und mit einem passend geformten Kopf und Schwanz versieht. Napoleon, der unmittelbar vor dem Höhepunkte seines Ruhmes stand, interessierte sich auf das lebhafteste für Voltas Entdeckung; er ließ ihn nach Paris kommen, und belohnte ihn nach einem Vortrage in der Pariser Akademie nicht nur mit Orden und Medaillen, sondern auch mit einem Ehrenpreise von 20000 Franken.

Unter den vielen Versuchen, die allerseits mit der Voltaschen Säule angestellt worden waren, sind nur wenige, die alsbald zu einer Erweiterung der Wissenschaft geführt haben; das meiste war Spielerei, genau wie wir eben sich ganz ähnliche Erscheinungen abspielen sehen. Indessen gab es doch ein wesentlich neues Gebiet von Erscheinungen, von denen in Voltas Mitteilung keine Rede gewesen war, und die gleichzeitig in Deutschland durch Ritter, in England durch Nicholson und Carlisle entdeckt worden sind: es sind dies die chemischen Wirkungen der Säule, insbesondere die Zersetzung des Wassers durch den elektrischen Strom.

Wir sehen hier Volta dasselbe Schicksal erleben, welches er seinerzeit Galvani bereitet hatte: andere mußten ihm das Wichtigste an seiner Entdeckung zeigen. Es erscheint fast unglaublich, doch ist es wahr: Volta hat die chemische Wirkung seiner Säule vor Augen gehabt, ohne sie zu sehen; dies geht aus der Beschreibung anderer, von ihm angestellter Versuche unzweifelhaft hervor. Diese chemische Wirkung gehört aber zu den wunderbarsten Erscheinungen der Wissenschaft; wenn man zwei Drähte von den Enden einer Voltaschen Säule in Wasser leitet, so erscheinen die beiden Bestandteile des Wassers, der Wasserstoff und und der Sauerstoff, an diesen, und zwar an einem Ende das eine Gas, am anderen Ende das andere; die Drähte können dabei so weit wie möglich entfernt sein. Wie ist es denkbar, daß die beiden Bestandteile des Wassers so unabhängig voneinander auftreten? Es wäre so, als wenn von zwei Personen, die sich an dem einen Ende des Saales soeben trennen, zwar die eine an diesem Orte verbliebe, die andere aber plötzlich auf der anderen Seite erschiene.

Es handelt sich hier bei Volta nicht nur um ein Übersehen einer an sich wichtigen Erscheinung, sondern um das Verfehlen der Fundamentaltatsache, von deren Kenntnis das Verständnis seiner ganzen Entdeckung abhing. Diese Tatsache hat er nicht nur nicht gefunden, sondern er hat sogar, als sie von anderen gefunden worden war, ihre Bedeutung für diese Vorgänge völlig in Abrede gestellt, und dadurch die Wissenschaft in eine falsche Bahn geleitet, deren Fehler noch bis auf den heutigen Tag an einzelnen Stellen nachwirken.

Nur in einer Beziehung erfuhr er ein weit günstigeres persönliches Schicksal, als Galvani. Während dieser den Sturz seiner Theorie erleben mußte, und erst lange nach seinem Tode der richtige Anteil, der auch in seinen Ansichten enthalten war, an das Licht gebracht wurde, durfte Volta, der noch 20 Jahre lebte, während dieser ganzen Zeit auf eine fast unbedingte Herrschaft seiner Ansichten blicken; erst viel später machten sich

die Widersprüche und die erforderlichen Änderungen geltend. Wie ein Fürst geehrt und als einer der Allerersten im Reiche der Wissenschaft anerkannt, ist er in hohem Alter dahingeschieden; doch hat das Schicksal der Vergänglichkeit, das allem menschlichen Tun, auch dem größten, in einigen seiner Teile anhaftet, auch von ihm seinen Tribut gefordert. Während er seinen Zeitgenossen als ein unerreichbarer Gipfel menschlicher Vollkommenheit erschien, ist er jetzt in die lange Reihe der großen Männer zurückgetreten, auf deren Schultern wir stehen, und an deren Leistungen wir das Vergängliche vom Unvergänglichen sondern müssen. Es wird wohl keiner sein, der diesem Schicksale je entgeht; verliert dadurch vielleicht das Bild solcher Männer etwas von der feierlichen Pracht, in welcher wir es zu sehen gewohnt sind, so gewinnt es an menschlich-teilnahmsvoller Nähe. Wir sehen, daß diesen Geistesgewaltigen Erlebnisse nicht erspart sind, wie sie auch den gewöhnlichen Sterblichen treffen; ja wir können sagen, daß in jedem großen Manne die Bedingungen eines tragischen Geschickes gegeben sind, das an dem Durchschnittsmenschen vorüber zugehen pflegt: das, was er in der Fülle der Kraft und des Glückes geschaffen, zu einer Zeit ins Schwanken geraten zu sehen, in welcher er nicht mehr hoffen kann, durch eigene Arbeit die weichenden Stützen zu festigen und die entstandenen Risse zu verbinden. Was aber kann tragischer genannt werden, als das Geschick, in eben dem Augenblicke von dem Werke seines Lebens scheiden zu müssen, in welchem es seines Schöpfers am dringendsten zu bedürfen scheint?

3

DIE WISSENSCHAFTLICHE ELEKTROCHEMIE DER GEGENWART UND DIE TECHNISCHE DER ZUKUNFT

(Vortrag, gehalten auf der zweiten Jahresversammlung des Verbandes der Elektrotechniker Deutschlands in Leipzig am 8. Juni 1894.)

Meine Herren! Vor einigen Jahren las ich einmal zufällig die Angabe, daß so und so viel tausend Zentner Benzol, der größte Teil der gesamten Produktion des Landes, jährlich von England nach Deutschland ausgeführt werden. An und für sich ist dies eine Zahl unter vielen, aber wenn man die Zahlen zum Reden bringt, so können sie sehr viel sagen. Benzol wird als solches nicht gebraucht; es dient zur Überführung in andere Stoffe, Farben, Riechstoffe, Medikamente u. s. w. Es ist also ein Halbfabrikat, und wir sehen hier das merkwürdige Schauspiel, daß das älteste Industrieland der Welt genötigt ist, bei der Umwandlung des Steinkohlenteer in die genannten Produkte auf halbem Wege stehen zu bleiben und den wesentlichsten und gewinnbringendsten Teil der Fabrikation einem anderen Lande zu überlassen. Dazu kommt, daß England das erste Land war, welches die Herstellung von Benzolfarbstoffen fabrikmäßig betrieben hat. Welches sind also die Ursachen, durch die diese auffallende Verschiebung eingetreten ist? Die Antwort fand ich, als ich Gelegenheit hatte, England zu be-

suchen und die Verhältnisse des Landes etwas näher kennen zu lernen.

Es war in einer bedeutenden Industriestadt, wo ich einen Fachgenossen, der an einem dortigen College Chemie lehrt, besuchte. Er zeigte mir mit Stolz sein in der Tat sehr schön eingerichtetes Laboratorium, und nachdem alles zur Genüge bewundert war, folgte die unvermeidliche Frage: wieviel Praktikanten haben Sie? Ich will Ihnen die Zahl hier nicht nennen, aber sie war für die mir bekannte Gesamtfrequenz des College auffallend klein. Ja, sagte der Professor, mein Kollege auf der anderen Seite, der hat die fünffache Anzahl. Es ergab sich, daß dieser andere Professor nicht Chemie, sondern Färberei und Kattundruck in seinem Unterrichtslaboratorium lehrte, und daher die hohe Frequenz hatte. Der junge künftige Techniker in England denkt zu praktisch, um Chemie in abstrakter Gestalt zu studieren, wenn er später in eine Färberei zu gehen gedenkt; er studiert lieber das Färben selbst. In Deutschland ist es umgekehrt; da studiert jeder künftige technische Chemiker vor allen Dingen Chemie; ihre Anwendungen kommen später. Die notwendige Folge ist, daß der englische Techniker von neuem anfangen muß, wenn irgend eine wesentliche Änderung in seinem Gebiete stattfindet; der deutsche besinnt sich auf die allgemeinen Grundlagen, die er sich zu eigen gemacht hat, und findet sich bald zurecht.

Es ist kein Gebiet, in welchem die Überlegenheit unserer Schulmeisterpraxis sich so glänzend geltend gemacht hätte, wie in der technischen Chemie, und es ist jetzt allgemein anerkannt, daß Liebig mit der Begründung seines rein wissenschaftlichen Zwecken gewidmeten Unterrichtslaboratoriums auch die chemische Industrie in Deutschland begründet hat. Das Fabriklaboratorium einer auf der Höhe der Zeit stehenden chemischen Fabrik unterscheidet sich von dem Laboratorium einer Hochschule heutzutage nur darin, daß es besser ausgestattet ist, und die darin ausgeführten Arbeiten sind eine unmittelbare Fort-

setzung der auf der Hochschule betriebenen wissenschaftlichen Untersuchungen. Das ist das Geheimnis des Erfolges der deutschen chemischen Industrie: sie hat begriffen, daß die Wissenschaft die beste Praxis ist.

Eine unmittelbare Folge dieser Einsicht ist, daß in keinem Lande eine so große Zahl wissenschaftlich gebildeter junger Leute sich der Technik zur Verfügung stellt. In der Tat ist der Bildungsgang der gleiche für den künftigen Techniker wie für den künftigen Professor; erst nach Abschluß seiner Studien braucht er sich für den einen oder den anderen Beruf zu entscheiden. Die deutsche chemische Industrie verfügt über einen größeren Vorrat von wissenschaftlich geschulter Intelligenz als irgend ein anderes Land, und daher rührt ihre Überlegenheit.

Mit der Entwicklung der Elektrotechnik ist es nicht ganz so günstig gegangen, wenigstens was die Universitäten anlangt. Sie ist uns sozusagen über den Kopf gekommen, und der etwas langsam funktionierende Organismus hat nicht die Zeit gehabt, sich dem rapid entstandenen und anwachsenden Bedürfnis anzupassen. Es ist dies mindestens ebenso sehr im Interesse der Universitäten zu bedauern, wie in dem der Elektrotechnik, und ich hoffe darauf, daß es allmählich anders wird. Ihre Erklärung findet diese Entwicklung darin, daß die heutige Elektrotechnik sich wesentlich als Maschinentechnik entwickelt hat: dabei gab es für die an den Universitäten vertretenen Fächer wenig zu tun. Der Punkt, wo die Elektrotechnik sich mit der abstrakten Wissenschaft begegnen wird, ist das Gebiet, in dem wir alle die nächste große Phase in der Anwendung der Elektrizität auf die Probleme der Technik erblicken: ich meine das Gebiet der Elektrochemie.

Es ist, ich darf es wohl sagen, eine glückliche Stunde für eine solche Vereinigung. Das hundertjährige Problem der Voltaschen Kette ist soeben gelöst worden; wir sind jetzt im stande, auf Grund der Kenntnis einiger Konstanten die elektromotorische Kraft beliebiger Ketten mit einem hohen Grade von

Annäherung voraus zu berechnen, und über die elektrische Leitfähigkeit der Elektrolyte besitzen wir sehr eingehende Kenntnisse. Zwar scheinen die jüngst gewonnenen Resultate noch nicht von allen Fachgenossen angenommen und anerkannt zu sein, doch ist dies wohl mehr eine Folge des auch in der intellektuellen Welt gültigen Trägheitsgesetzes oder Beharrungsvermögens; wenigstens sind Einwände gegen eben erwähnte Forschungsergebnisse in letzter Zeit nicht erhoben worden, und die Zahl der Überzeugten mehrt sich von Tag zu Tag.

Allerdings ist es keine geringe Zumutung an die wissenschaftliche Welt gewesen, die Anschauungen gut zu heißen, zu denen die elektrochemischen Arbeiten der letzten Jahre unabweislich geführt haben. Handelt es sich doch um nichts weniger, als um eine völlige Umkehr aller gewohnten Vorstellungen über den Zustand gelöster Stoffe; an Stelle beispielsweise des durch die stärksten Verwandtschaften zusammengehaltenen Chlornatriums sollte eine Lösung von Kochsalz freie Atome von Chlor und von Natrium enthalten. Welche Tatsachen machen eine derartige unerhörte Ansicht notwendig?

Da ich heute nicht zu Chemikern zu reden habe, sondern zu Elektrikern, so will ich mich auf elektrische Argumente beschränken. Denken sie sich eine verdünnte Lösung, z. B. von Chlornatrium in viel Wasser. Eine solche Lösung, die etwa ein halbes Gramm Kochsalz im Liter enthält, leitet die Elektrizität noch sehr gut. Nun erfolgt die Leitung der Elektrizität bekanntlich dadurch, daß sie von den Ionen, d. h. von den Bestandteilen des Salzes, fortgeführt wird; das Natrium muß die positive, das Chlor die negative Elektrizität transportieren. Denn in Elektrolyten bewegt sich die Elektrizität nur mit den Ionen, dies ist ja der Inhalt des Faradayschen Gesetzes. Verfolgen wir diese Bewegung etwas genauer.

Bei den oben angenommenen Konzentrationsverhältnissen befinden sich in der Lösung auf jedes Atom Chlornatrium 1000 Atome Wasser. Denkt man sich diese gleichförmig ver-

teilt, so liegen in einer Reihe immer 10 Wasseratome zwischen je zwei Atomen Chlornatrium; wenn also die Leitung erfolgen soll, so muß, selbst wenn man annimmt, daß die Leitung in einem wechselseitigen Austausch der Ionen besteht, jedes Natriumatom eine fünffache Atomdistanz zurücklegen, bevor es wieder auf ein Chloratom trifft, mit dem es sich vereinigen kann. Wie man sich auch stellen mag, man muß unter allen Umständen zugeben, daß Natriumatome allein in der wäßrigen Lösung bestehen können, und zwar durch eine viel längere Zeit, als sie in verbundenem Zustande vorhanden sind. Mehr behauptet aber die Dissoziationstheorie auch nicht. Durch eine Anzahl sehr verschiedener, sich gegenseitig kontrollierender Methoden sind wir gegenwärtig im stande, genau zu bestimmen, wie groß der Anteil des Elektrolyts ist, welcher in seine Ionen gespalten ist. (32)

Hierdurch erhält die Frage nach der elektrischen Leitfähigkeit eine sehr einfache Beantwortung: In jedem Elektrolyt ist die Leitfähigkeit proportional der in der Volumeinheit vorhandenen Ionenmenge und ferner zweier Konstanten, die man die Wanderungsgeschwindigkeit der Ionen nennen kann. Diese Geschwindigkeit ist beim Wasserstoff am größten, wie denn auch Säuren am besten leiten. Ich will auf diese Angelegenheit hier nicht weiter eingehen, obwohl sie nicht ohne Interesse ist; die Frage nach den elektromotorischen Kräften ist doch von noch größerem Interesse, und sie ist auch auf ähnlichem Wege gelöst worden.

Die Grundlage aller Erörterungen auf diesem Gebiete bildet der Begriff des osmotischen Druckes, und diesen muß ich Ihnen daher zunächst darlegen. Nach fünf oder zehn Jahren würde dies nicht nötig sein, denn dann wird der Begriff jedem wissenschaftlich gebildeten Menschen so geläufig sein, wie der des Gasdruckes; heute aber glaube ich Ihnen noch keine Kränkung zuzufügen, wenn ich es für nötig halte, die Sache erst auseinanderzusetzen.

Sie wissen, daß, wenn man über eine konzentrierte Lösung irgend eines Stoffes reines Wasser schichtet, sich der gelöste Stoff in das Wasser hineinbewegt; diese Bewegung oder Diffusion setzt sich so lange fort, bis alles sich gleichförmig verteilt hat. Die Ursache, welche diese Bewegung hervorbringt, und die den Charakter eines Druckes hat, nennen wir eben den osmotischen Druck. Um sich davon zu überzeugen, daß es sich um eine wirkliche Druckgröße handelt, braucht man nur die Bewegung des gelösten Stoffes zu verhindern. Dazu gehört eine Zwischenwand, welche den gelösten Stoff nicht durchläßt, wohl aber das Lösungsmittel, also das Wasser. Es ist nicht ganz leicht, solche Wände herzustellen, doch ist es in manchen Fällen gelungen, und insbesondere Professor Pfeffer hat gezeigt, wie das möglich zu machen ist. Man findet mit einer solchen Zwischenwand, daß die entstehenden Drucke auffallend groß sind; eine Salzlösung, wie das Meerwasser, würde schon einen Druck von rund 20 Atmosphären ausüben. Woher dieser Druck stammt, ist eine Frage, die wir nicht zu erörtern brauchen, genug, daß der Druck da ist und allen gelösten Stoffen zukommt.

Jeder feste Körper, der mit einer Flüssigkeit in Berührung ist, in der er sich auflösen kann, ist naturgemäß im stande, einen derartigen Druck auszuüben. Man braucht ihn ja nur mit einer Hülle von der vorher beschriebenen Art zu umgeben; macht man diese halbdurchlässige Hülle stark genug, daß der Druck sie nicht zerreißen kann, so wird schließlich ein Maximalwert des Druckes erreicht werden, der von der Löslichkeit des festen Körpers abhängt, und der nicht überschritten werden kann. Dieser Druck ist ganz analog dem Dampfdruck, und ebenso, wie man mit dem Dampfdruck Maschinen treibt, so kann man sich eine Maschine mit dem osmotischen Drucke betrieben denken. Ein galvanisches Element ist nun, und das ist der Grund, weshalb ich Ihnen diese lange Auseinandersetzung gemacht habe, nichts anderes, als

eine solche Maschine, die mit dem osmotischen Drucke betrieben wird.

Um dies völlig zu verstehen, müssen wir allerdings den Vorgang der Auflösung der Metalle, wie er in den galvanischen Elementen vor sich geht, etwas eingehender betrachten. Das Zink löst sich zu Zinksulfat. Im Sinne der früher erörterten Auschauung besteht der Vorgang darin, daß aus dem unelektrischen Metall elektrisch geladene Zinkionen gebildet werden; gleichzeitig treten, wenn wir das Daniellsche Element unseren Betrachtungen zu grunde legen, ebenso viele Kupferionen in den unelektrischen Zustand, d. h. in den des gewöhnlichen Metalls über. An der Zinkelektrode muß daher immerfort positive Elektrizität aufgenommen, an der Kupferelektrode ebenso viele abgegeben werden, wenn der Vorgang überhaupt stattfinden soll; verbindet man daher beide Metalle leitend miteinander, so erfolgt gleichzeitig mit dem chemischen Prozesse ein elektrischer, und keiner kann ohne den anderen stattfinden.

Nun ist Ihnen, meine Herren, die Analogie zwischen dem Drucke und der elektromotorischen Kraft vollkommen geläufig. Ebenso, wie wir eine mechanische Maschine mit Hülfe zweier Flüssigkeiten von verschiedenem Dampfdrucke betreiben können, so können wir eine elektrische Maschine mittels zweier Quellen von verschiedenem elektrischen Druck oder Potential betreiben; das Zink und das Kupfer des Daniellschen Elements sind nun zwei solche Stromquellen verschiedenen Potentials und die Verschiedenheit ihres elektrischen Druckes beruht auf der Verschiedenheit des osmotischen Druckes, mit welchem einerseits die Zink-, andererseits die Kupferionen ausgestattet sind. Je stärker der treibende Druck beim Zink, und je geringer der zu überwindende Gegendruck beim Kupfer ist, um so günstiger kann das Element arbeiten, d. h. um so größer ist die elektromotorische Kraft.

Der Druck, mit dem ein Metall in Lösung zu gehen bestrebt ist, oder der Lösungsdruck, wie wir ihn künftig nennen

wollen, ist nun für jedes Metall eine ganz bestimmte Größe, und es scheint, als wenn es bei der Konstruktion galvanischer Elemente nur auf die beiden Metalle und sonst nichts weiteres ankäme. Doch ist dies nicht der Fall, und der Anschein, daß es so sei, entstand nur daraus, daß noch ein Faktor in Betracht kommt, welchen wir bisher noch nicht erwähnt haben.

Wenn die Elektrode von Zink mit der Lösung in Berührung ist, so hängt der effektive Lösungsdruck offenbar nicht nur vom Zink ab, sondern in der Flüssigkeit sind Zinkionen enthalten, die einen Gegendruck üben und nur in dem Verhältnis, in welchem der erste Druck den anderen übertrifft, kann er wirksam sein. Die elektromotorische Kraft des Zinks ist also um so größer, je geringer der Gegendruck der Zinkionen, d. h. je geringer die Konzentration in bezug auf Zink ist. In der Tat ist es ja bekannt, daß die elektromotorische Kraft eines Daniellschen Elements mit Schwefelsäure größer ist als mit Zinksulfat.

Umgekehrt liegen die Verhältnisse beim Kupfer; hier ist es vorteilhaft, wenn die Konzentration der Kupferionen möglichst groß ist, denn ein großer Druck auf dieser Seite kommt der Abscheidung des Kupfers zu Hülfe.

Mit diesen einfachen Betrachtungen ist die Theorie der galvanischen Elemente im wesentlichen gegeben. Von den bisherigen sogenannten Theorien des galvanischen Elementes unterscheidet sich die hier angedeutete, von Professor Nernst begründete, hauptsächlich dadurch, daß sie nicht nur eine ungefähre Veranschaulichung der obwaltenden Verhältnisse gibt, sondern eine bis in die kleinsten Einzelheiten kontrollierbare quantitative Theorie, vergleichbar dem Newtonschen Gravitationsgesetz. Denn die Theorie gibt für bestimmte Voraussetzungen auch ganz bestimmte Resultate, und die Fälle, die sich zurzeit noch nicht vollständig berechnen lassen, zeigen diesen Umstand nicht etwa, weil die Theorie unvollständig ist, sondern nur, weil mathematische Schwierigkeiten die Integration der Differentialgleichungen, die bekannt sind, verhindern. Im übrigen ist

das, was noch fehlt, die Bestimmung der maßgebenden Konstanten. Eine gute Anzahl derselben ist ja schon bekannt, doch muß naturgemäß in dieser Richtung noch viel geschehen.

Durch die Theorie haben wir nun das Mittel, die Bedingungen für eine möglichst zweckmäßige Anordnung eines galvanischen Elements festzustellen. An der Zinkseite muß ein möglichst kleiner Ionendruck herrschen. Diese Bedingung läßt sich besonders vorteilhaft erfüllen, wenn man solche Lösungsmittel für das Zink anwendet, die nur eine sehr kleine Anzahl von Zinkionen enthalten, auch wenn eine mehr oder weniger große Zinkmenge in der Flüssigkeit gelöst ist. Diese Bedingung erscheint unerfüllbar, ist es aber nicht, denn nicht alles Metall, das in der Lösung ist, ist als Ion gelöst. Die Zeit gestattet mir leider nicht, Ihnen, meine Herren, diese interessanten Verhältnisse genauer auseinanderzusetzen; ich will nur bemerken, daß die in letzter Zeit üblich gewordene Anwendung alkalischer Flüssigkeiten beim Zink von diesem Standpunkte aus sehr zweckmäßig ist. Nur müßte noch das Problem gelöst werden, mit der alkalischen Flüssigkeit am Zink eine saure an der Kathode zu kombinieren, um möglichst große elektromotorische Kräfte zu erhalten. Denn auch dies ist ein allgemeines Ergebnis der Theorie, daß Oxydationsmittel am besten in saurer, Reduktionsmittel am besten in alkalischer Flüssigkeit wirken, und zwar ist der Unterschied ein sehr bedeutender. Ein Element mit Zink in Ätzkali und Kohle in konzentrierter Salpetersäure hat eine elektromotorische Kraft von mehr als zweiundeinhalb Volt. Ob es gelingen wird, ein solches Element praktisch brauchbar zu machen, ist freilich eine noch nicht zu beantwortende Frage.

Aber, meine Herren, diese Frage ist nicht bedeutend genug, um uns länger zu beschäftigen, es sind viel weitergehende Probleme, deren Lösung der Elektrochemie obliegt. Ich weiß nicht, ob Sie sich schon genügend vergegenwärtigt haben, was für ein unvollkommenes Ding noch in unserer Zeit der hoch-

stehenden Technik die wesentliche Energiequelle ist, deren wir uns bedienen, ich meine die Dampfmaschine. Von der Energie der verbrennenden Kohle erhalten wir in Gestalt mechanischer Arbeit im allerbesten Falle nicht mehr als fünfzehn Prozent. Nun wissen wir ja freilich, daß die Wärme nicht vollständig in mechanische Energie verwandelbar ist, aber wir können den Bruchteil berechnen, den wir aus einer gegebenen Wärmemenge von gegebener Temperatur erhalten können, wenn wir sie auf eine andere gleichfalls bestimmte Temperatur absinken lassen, und auch mit Rücksicht auf diesen Umstand finden wir noch immer, daß wir nur etwa ein Neuntel der umwandelbaren Energie ausnutzen. An der Dampfmaschine als technischem Apparat liegt die Ursache dieses kläglichen Resultats nicht; sie liegt vielmehr darin, daß von der hohen Temperatur des Brennmaterials, die wir niedrig auf 1000 schätzen können, nur der allerkleinste Teil ausgenutzt wird, nämlich der zwischen der Temperatur des Kessels und der des Kondensators. Der ganze riesige Temperaturunterschied zwischen dem Heizraum und dem Kessel geht völlig verloren, eine Verbesserung der thermodynamischen Maschinen ist nur auf dem einen Wege möglich, daß man bei höheren Anfangstemperaturen arbeitet. Wie das zu machen ist, bleibt Sache der Techniker; nur will ich bemerken, daß die Lösung am ehesten auf dem Wege der Gaskraftmaschine erreichbar erscheint. (33)

Aber thermodynamische Maschinen sind nicht die einzigen, die es gibt, und Temperaturen von 1000 Grad, deren technische Handhabung allerdings keine einfache Sache ist, sind nicht unumgänglich. Das Maximum der Energie, die man aus irgend einer Umwandlung gewinnen kann, ist theoretisch ganz unabhängig von dem Wege, auf welchem die Umwandlung erfolgt. Können wir demnach die chemische Energie des Brennmaterials auf irgend eine andere Weise, bei der Wärme nicht in Frage kommt, in mechanische Arbeit verwandeln, so sind wir an die unbequem hohen Temperaturen nicht gebunden

und können den ganzen Betrag gewinnen, ohne jene Unbequemlichkeiten in den Kauf nehmen zu müssen.

Der Weg nun, meine Herren, auf welchem diese größte aller technischen Fragen, die Beschaffung billiger Energie, zu lösen ist, dieser Weg muß von der Elektrochemie gefunden werden. Haben wir ein galvanisches Element, welches aus Kohle und dem Sauerstoff der Luft unmittelbar elektrische Energie liefert, und zwar in einem Betrage, der einigermaßen im Verhältnis zu dem theoretischen Werte steht, dann stehen wir vor einer technischen Umwälzung, gegen welche die bei der Erfindung der Dampfmaschine verschwinden muß. Denken Sie nur, wie bei der unvergleichlich bequemen und biegsamen Verteilung, welche die elektrische Energie gestattet, sich das Aussehen unserer Industrieorte ändern wird! Kein Rauch, kein Ruß, kein Dampfkessel, keine Dampfmaschine, ja kein Feuer mehr, denn Feuer wird man nur noch für die wenigen Prozesse brauchen, die man auf elektrischem Wege nicht bewältigen kann, und deren werden täglich weniger werden. (34)

Wie das fragliche galvanische Element einzurichten sein wird, ist natürlich zurzeit kaum zu vermuten. Nur will ich auf einen wesentlichen Punkt hinweisen, der, wie ich glaube, fast immer mißverstanden wird. Die Energie des galvanischen Elements entsteht aus der chemischen Energie, das ist unzweifelhaft. Aber es geht keineswegs alle chemische Energie in elektrische über; welches sind nun die Bedingungen, unter welchen dieser Übergang so vollständig wie möglich ist? Die Antwort ist, daß nur die indirekten chemischen Vorgänge elektrisch brauchbar sind. Ich möchte Ihnen diese Tatsache durch einen kleinen Versuch anschaulich machen, der, so einfach er ist, doch manchem von Ihnen neu und überraschend sein möchte.

Ich habe hier zwei durch einen gefüllten Heber verbundene Gläser mit Lösungen von Kaliumsulfat; in das eine Glas stelle ich einen Stab von Zink, in das andere einen von Platin. Verbinde ich beide Metalle durch ein Galvanometer, so erfolgt nur

ein ganz kurz dauernder Strom, und die Galvanometernadel gelangt alsbald wieder zur Ruhe. Sie wissen, daß dies von der Polarisation herrührt, und daß man einen dauernden Strom erhalten kann, wenn man statt der neutralen Flüssigkeit eine Säure anwendet. Hier habe ich etwas Schwefelsäure; in welches von den Gläsern soll ich sie gießen, um einen Strom zu erhalten? Jeder, dem ich diese Frage gestellt habe, hat ohne Zögern geantwortet: Natürlich zum Zink, denn das Zink muß sich ja auflösen! Nun, meine Herren, der Umstand, daß ich Ihnen die Frage überhaupt stelle, ist ein Hinweis darauf, daß die Sache sich anders verhält. Ich gieße die Säure zum Zink: keine Wirkung! Und nun gieße ich die Säure zum Platin und die Nadel des Galvanometers fliegt an die Hemmung!

Wir kommen also zu dem absurd erscheinenden Resultat, daß wir die Säure dahin gießen müssen, wo der Stoff, auf den sie wirken soll, eben nicht ist. Dies ist ganz allgemein; ich habe vor einigen Jahren eine ganze Reihe von Versuchen veröffentlicht, in welchen ich für ganz verschiedene Reaktionen zeigte, daß immer dasselbe Prinzip maßgebend ist. Das ist nicht etwa eine unvorhergesehene und unerklärliche Tatsache, sondern ich habe damals die Versuche angestellt, weil ich die beschriebenen Erscheinungen nach der Theorie, die sich damals eben erst zu bilden anfing, erwarten mußte, während sie doch auf den ersten Blick wenig wahrscheinlich aussahen.

Denken wir etwas tiefer über das Wesen der Vorgänge nach, so begreifen wir allerdings bald, daß sie nicht anders verlaufen können. Wenn das Zink sich auflösen soll, so muß es Ionen bilden, und nimmt dazu eine entsprechende Menge positiver Elektrizität auf. Damit dies möglich ist, muß eine gleiche Menge positiver Elektrizität die Lösung verlassen, indem eine äquivalente Menge Wasserstoff den Ionenzustand aufgibt und sich in gewöhnliches Wasserstoffgas verwandelt. Diese Abgabe der positiven Elektrizität aus der Flüssigkeit kann nicht

an der Stelle erfolgen, wo das Zink sich auflöst, denn dort findet ja die entgegengesetzte Elektrizitätsbewegung statt. Es ist also nur möglich, daß der Wasserstoff an der Kathode entweicht, wie es auch tatsächlich der Fall ist.

Aus dieser Darlegung ersehen Sie, wie falsch der Weg war, den vor einigen Jahren der kürzlich verstorbene Jablochkoff einschlug, um die elektrische Energie unmittelbar aus der Kohle zu gewinnen. Er brachte die Kohle in schmelzenden Salpeter, der den Sauerstoff liefern sollte, und erhielt bei dem heftigen Verbrennungsprozeß, der nun eintrat, allerdings einen Strom, aber einen so schwachen, daß an seine Verwendung nicht zu denken war. Wir sehen jetzt den Grund des Mißerfolges: der Salpeter gehört nicht an die oxydierbare Elektrode, sondern an eine, die durch den Sauerstoff nicht angegriffen wird. Wir gießen im Bunsenschen Element die Salpetersäure doch auch nicht an den oxydierbaren Stoff, das Zink, sondern an die unter diesen Umständen nicht oxydierbare Kohle. Unser künftiges Kohleelement wird also gleichfalls das Oxydationsmittel an der Stelle, wo die zu verbrennende Kohle nicht ist, enthalten müssen, und zwar muß es entweder der Sauerstoff der Luft selbst sein, oder ein in beliebiger Menge aus diesem zu erhaltendes Oxydationsmittel. Ein solches Element würde genau denselben chemischen Prozeß zeigen, wie ein gewöhnlicher Ofen; auf der einen Seite würde Kohle eingeschüttet werden, auf der anderen Seite müßte Sauerstoff zugeführt werden, und Kohlensäure würde als Produkt der Wechselwirkung entweichen. Nur muß noch ein passender Elektrolyt eingeschaltet werden, der den elektrischen Vorgang vermittelt. Dieser Elektrolyt würde nur als Zwischensubstanz wirken und keinen Verbrauch erfahren.

Es ist hier nicht der Ort, meine Herren, die möglichen technischen Einzelheiten auseinanderzusetzen, die zu dem Ziele führen könnten, denn bis diese Aufgabe einmal ernst in Angriff genommen wird, wird noch einige Zeit vergehen. Aber daß

es sich hier nicht um eine unpraktische Gelehrtenidee handelt, glaube ich allerdings annehmen zu dürfen. Denn wir haben hier in der Tat einen Fall, wo sich der Erfolg vollständig übersehen läßt, ebenso wie z. B. bei irgend einer mechanischen Aufgabe, und die Technik hat nur das Problem zu lösen, die billigste und beste Form zu finden, in welcher die Sache auszuführen ist. (35)

Der eben besprochene Gegenstand ist nicht der einzige, dessen künftige Entwicklung die elektrochemische Wissenschaft mit einiger Sicherheit voraussehen läßt. Eine andere hinlänglich wichtige Sache ist z. B. die Frage nach den Akkumulatoren, d. h. nach der besten Aufspeicherung der elektrischen Energie. Wir haben das Problem zu lösen, in einem möglichst kleinen Raume und Gewicht ein Maximum von Energie aufzuspeichern. Nun ist die Energie proportional sowohl der Elektrizitätsmenge, die in dem Akkumulator steckt, wie seiner elektromotorischen Kraft. Die erstere ist dem elektrochemischen Äquivalent der angewandten Stoffe umgekehrt proportional. Nun ist in dem gewöhnlich benutzten Bleiakkumulator der erste Faktor sehr ungünstig groß. Das elektrochemische Äquivalent des Bleies ist 100; denken wir uns, daß wir an seiner Stelle zweckmäßig Aluminium verwenden könnten, dessen Äquivalent nur 9 ist, so könnten wir das Gewicht der Elektrode auf den elften Teil verringern und eine ganz außerordentliche Ersparnis an Gewicht erzielen. Nun, meine Herren, ich glaube nicht, daß der Aluminiumakkumulator jemals praktisch werden wird, dazu sind zu viele ungünstige Umstände vorhanden. Aber Aluminium ist ja nicht das einzige Metall mit kleinem Äquivalent, und es schien mir nicht ganz überflüssig, auch über diesen Punkt ein Wort zu sagen.

Schließlich, meine Herren, möchte ich noch einige Worte über das Gebiet der Elektrolyse sagen, welches gegenwärtig im Vordergrunde der technischen Anwendung steht. Man ist gewohnt, hierbei primäre und sekundäre Vorgänge zu unter-

scheiden, doch hat sich jetzt, wie ich meine, allmählich herausgestellt, daß dieser Unterschied wenig zweckmäßig und auch kaum haltbar ist. Wenn wir z. B. eine Lösung von Kaliumsulfat der Elektrolyse unterwerfen, so erhalten wir an den Elektroden nicht Kalium und eine Verbindung SO_4, welche die Ionen des Kaliumsulfats sind, sondern statt derselben Wasserstoff und Kaliumhydroxyd auf der einen, Sauerstoff und Schwefelsäure auf der anderen Seite, und man bezeichnet diese Produkte als sekundär, indem man annimmt, daß die Ionen des Salzes, nämlich Kalium und SO_4, allerdings zunächst ausgeschieden werden, daß sie aber alsbald auf das vorhandene Wasser wirken, und dabei die genannten Stoffe geben, die tatsächlich auftreten.

Nun, meine Herren, messen wir die elektromotorische Kraft, welche für diese Elektrolyse erforderlich ist, so finden wir sie kleiner, als sie gemäß der üblichen Annahme sein müßte, sie ist dagegen so groß, als wären die tatsächlich auftretenden Produkte die primären. Ich kann leider die Grundlagen dieser Rechnung hier nicht noch auseinandersetzen, die Tatsache ist aber ganz allgemein: stets hängt die elektromotorische Kraft nur von den wirklich eintretenden Prozessen ab, und in keiner Weise von denen, die wir als die primären anzusehen pflegen. Es scheint daher wenig zweckmäßig, diesen Unterschied beizubehalten, und wenigstens für die Berechnung der Polarisation bei der Elektrolyse gewährt die Unterscheidung primärer und sekundärer Vorgänge keinen Nutzen.

Indessen liegt hier doch noch eine nicht unwichtige Verschiedenheit vor, die in der üblichen Ausdrucksweise nicht zu ihrem eigentlichen Recht gekommen ist. Es ist dies die Unterscheidung zwischen den Stoffen, welche die Leitung vermitteln, und denen, die sich an der Elektrode abscheiden. Beide sind nicht die gleichen und können es auch nur in den wenigsten Fällen sein, denn nur die wenigsten Ionen können ohne Änderung der chemischen Zusammensetzung in unelektrische Verbindungen übergehen, wie sie das an den Elektroden tun

müßten, wenn es nur primäre Produkte der Elektrolyse im gewöhnlichen Sinne geben sollte. Der Unterschied, den man uneigentlich mit den Worten primäre und sekundäre Zersetzungsprodukte bezeichnet hat, ist auf die Frage zu beziehen: was leitet den Strom, und was tritt an der Elektrode aus? In einigen wenigen Fällen sind das die gleichen Stoffe, wie z. B. bei der Elektrolyse von geschmolzenem Chlormagnesium, wo Chlor und Magnesium auftritt; in den meisten Fällen sind es jedoch ganz verschiedene Stoffe, und es ist keine Notwendigkeit vorhanden, daß es die gleichen sein müßten.

Welche Stoffe scheiden sich aber an den Elektroden ab, wenn die Möglichkeit vorliegt, daß verschiedene auftreten? Auch diese Frage läßt sich allgemein beantworten: es sind stets die Stoffe, deren Abscheidung die kleinste elektromotorische Kraft erfordert. Dabei ist es ganz einerlei, ob sie primär oder sekundär im gewöhnlichen Sinne sind, d. h. ob sie den Hauptteil der Stromleitung besorgen oder nicht.

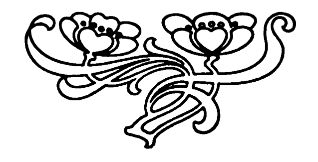
Für die Leitung des Stromes, und für den dabei auftretenden Widerstand kommen alle vorhandenen Ionen nach Maßgabe ihrer Menge oder Konzentration und ihrer Wanderungsgeschwindigkeit in Betracht und die hiermit in Zusammenhang stehenden Größen berechnet man nach diesen Umständen; für die Polarisation an der Elektrode dagegen ist nur das von Bedeutung, was sich ausscheidet. Beide Dinge sind in hohem Maße unabhängig voneinander, und nur das, daß man diese Unabhängigkeit nicht vorausgesetzt hat, ist die Ursache jener wenig angemessenen Ausdrucksweise gewesen. Ich glaube nicht, meine Herren, daß die Betonung dieser Punkte nur von theoretischem Interesse ist; ich bin im Gegenteil der Meinung, daß mangelnde Klarheit darüber die Ursache so mancher praktischen Mißerfolge gewesen ist. (36)

Es ließen sich noch manche andere Sachen auf diesem so reichen Gebiete besprechen, doch ich muß zum Schlusse eilen. Es ist gegenwärtig in weiten Kreisen der Technik bereits

die Überzeugung verbreitet, daß gerade die wissenschaftliche Elektrochemie, wie sie sich in letzter Zeit entwickelt hat, berufen ist, der Technik bei ihrem Vordringen in das vielversprechende neue Land hülfreich zu sein und ihr die Wege zu zeigen: bauen muß sie sie freilich selbst. Die Tätigkeit der Wissenschaft ist dabei positiv wie negativ; sie zeigt sowohl, was man machen kann, wie sie auch sagen kann: dies geht sicher nicht. Die Tätigkeit des technischen Erfinders wird dadurch nicht überflüssig gemacht. Denn die Wissenschaft redet nur, wenn sie gefragt wird, mit ja oder nein und auch dann weiß sie nicht immer Antwort; der Erfinder aber hat die schwerere Aufgabe, das Problem erst so weit zu gestalten, daß der Wissenschaft die Frage überhaupt gestellt werden kann. Und wenn endlich die Frage an die Wissenschaft gestellt wird, wie oft muß diese dann sagen: daran habe ich noch nicht gedacht! Hier ist der Ort, wo auch die Wissenschaft von der Technik ihren geistigen Gewinn zieht, und jeder von uns, der Gelegenheit gehabt hat, solche gelegentlichen Gewinne zu machen, weiß, von welchem Werte sie uns sein können.

Deshalb, meine Herren, ist es mir als ein überaus erfreuliches und vielversprechendes Zeichen des bewußten Zusammengehens von Wissenschaft und Praxis erschienen, daß Sie mir Gelegenheit gegeben haben, an dieser Stelle zu Ihnen sprechen zu können, und ich wünsche nur, daß Sie Ihre Zeit dabei nicht verloren haben. Ein gleich erfreuliches Zeichen war mir vor kurzer Zeit bei Gelegenheit der Gründung der deutschen elektrochemischen Gesellschaft entgegengetreten. Auch in diesem Falle überraschte mich das Gewicht, welches auf die Beteiligung der Vertreter der reinen Wissenschaft gelegt wurde. Und ich muß auch meinen Kollegen nachsagen, daß von einem gewissen hochmütigen Ablehnen, welches man uns manchmal, ob mit Recht oder Unrecht, will ich nicht entscheiden, zum Vorwurf gemacht hat, nicht das geringste zu merken war. Vielmehr war hüben wie drüben das Bewußtsein vorhanden, daß jeder

dem anderen etwas zu bringen hatte, und jeder von dem anderen etwas lernen konnte. Ich sehe in diesem Verhältnis die sicherste Gewähr dafür, daß auch auf diesem Felde unser deutsches Vaterland sich alsbald an die Spitze der übrigen Kulturvölker setzen wird. Man hat uns das „Volk der Denker“ genannt, wahrscheinlich als Anerkennung dafür, daß wir so lange das Handeln — und damit das Gewinnen — anderen Völkern überließen. Nun, wir haben ja inzwischen gezeigt, daß wir auch handeln können, und ich meine, wir haben gute Gelegenheit dazu, auch in diesem friedlichen Wettkampfe zu zeigen, daß wir gelernt haben zu handeln, und zwar schnell und schneidig zu handeln.



4

FORTSCHRITTE DER WISSENSCHAFTLICHEN ELEKTROCHEMIE

(Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure, Band XXXIX.)



Daß die Technik von der Wissenschaft ihre Nahrung und Befruchtung zu ziehen habe, gilt als eine ausgemachte Wahrheit, welche heute nicht erst im einzelnen bewiesen zu werden braucht; ist doch beinahe jeder Teil der heutigen Technik ein redender Beweis dafür. Das umgekehrte Verhältnis ist nicht so deutlich, und die Vertreter der Wissenschaft werden im allgemeinen nicht in demselben Maße geneigt sein, den fördernden Einfluß der Technik auf ihr Gebiet anzuerkennen. Auch würde die Betonung eines solchen Verhältnisses bedenklich sein in einem Lande, in welchem der Wert der Wissenschaft wesentlich nach ihrem technischen Erfolge bemessen wird; bei dem ausgeprägt theoretischen Sinne der Deutschen liegt nach dieser Richtung keine Gefahr vor; vielmehr ist eine solche in entgegengesetzter Richtung zu suchen. Der schöne und in sich so berechtigte Gedanke, daß die Wissenschaft ohne Rücksicht auf äußere Erfolge in ihrem Fortschritt lediglich durch ihre eigenen Bedürfnisse bestimmt werden soll, hat bei uns zu einer Abkehrung derselben von technischen Fragen geführt, welche nicht nur im Interesse der Technik,

sondern nicht weniger in dem der Wissenschaft zu bedauern ist. Als äußeres Zeichen dieser Trennung hat man die höheren technischen Studien auf besondere Hochschulen verwiesen, während doch beispielsweise die auf der Universität betriebenen medizinischen Studien mindestens in demselben Grade „angewandte Wissenschaft" darstellen, wie etwa die Ingenieurwissenschaft der technischen Hochschulen. So gering zurzeit die Aussichten sind, daß der hier begangene Fehler wieder gut gemacht werden wird, so darf doch nicht versäumt werden, bei jeder Gelegenheit darauf hinzuweisen, daß ein Fehler begangen worden ist, als man die technischen Studien statt an der Universität auf besonderen Hochschulen einrichtete.

Der Einfluß der Technik auf die Entwicklung der Wissenschaft tritt mit besonderer Deutlichkeit in jenen großen Grundgesetzen hervor, welche den Mittelpunkt der gegenwärtigen Physik bilden, und welche unter dem Namen der beiden Hauptsätze der Thermodynamik oder besser Energetik bekannt sind. Beide stammen in direkter Linie aus der Technik; die Abhandlung von Carnot, welche die erste Erkenntnis des zweiten Hauptsatzes bringt, beginnt mit Auseinandersetzungen über die Entwicklung der Dampfmaschinen in England und hat die Aufklärung der Gesetze, nach denen sie wirken, zum ersten Zweck. Ist auch beim ersten Hauptsatze dieser Zusammenhang nicht ganz so unmittelbar ersichtlich, so ist er doch immerhin vorhanden. Abgesehen davon, daß Techniker, wie Watt und Séguin, bereits vor Mayer, Joule und Helmholtz erhebliche Teile des Gesetzes von der Erhaltung der Energie begriffen hatten, so war es wieder die Entwicklung der Dampfmaschinentechnik, welche das Umwandlungsgesetz der Energien anschaulich machte und die schnelle Entwicklung der Thermodynamik begünstigte, die inzwischen allen übrigen Gebieten der Physik zu gute gekommen ist. Und wer waren die Forscher, welchen wir den Ausspruch des Gesetzes verdanken? Zwei praktische Ärzte und ein Bierbrauer! Also wieder Männer,

welche nicht der „reinen" Wissenschaft, sondern ihren näheren oder entfernteren Anwendungen ihre Arbeit gewidmet hatten.

Die Tatsache, daß solchen Männern das Erhaltungsgesetz der Energie zuerst entgegentreten mußte, hat ihren guten Grund. Dem Physiker war der Arbeitbegriff zunächst nur eine interessante Invariante, eine Größe, welche bei gewissen, sehr verschiedenartigen Änderungen konstant bleibt. Der Techniker stand dieser Größe von vornherein anders gegenüber. Da sie sich weder vermehren noch erschaffen läßt, so war er genötigt, sie irgendwoher zu nehmen, und was man nimmt, muß man im allgemeinen bezahlen. Gerade diese Eigenschaft der Arbeitgröße, daß sie durch keinerlei maschinelle Einrichtung vermehrt werden kann, zwang den Techniker, ihr eine besondere Aufmerksamkeit zu widmen; denn sie war durch diesen Umstand bestimmend für den Aufwand seiner Einrichtungen, d. h. für die allgewaltige Kostenfrage. Und hier grenzen die trivialsten Fragen des täglichen Lebens unmittelbar an die höchsten Probleme der Wissenschaft: auch für diese ist die Aufsuchung der Invarianten, der Größen, welche keine Vermehrung oder Verminderung gestatten, eine unmittelbare Lebensfrage, denn diese Invarianten sind das grundlegende Hilfsmittel für die Aufstellung irgendwelcher Naturgesetze. In der Tat lassen sich alle die großen Gesetze immer auf eine Form bringen, in der sie eine Funktion der beteiligten Veränderlichen angeben, die bei allen Werten, welche die Veränderlichen annehmen können, konstant bleibt.

Wenn auch diese Erörterungen scheinbar von dem Gegenstande, der in der Überschrift dieses Aufsatzes genannt ist, weit abliegen, so sind sie dennoch gerade durch den Gegenstand selbst hervorgerufen, denn die ausgeprägteste Seite, welche sich soeben an der Entwicklung der Elektrochemie erkennen läßt, ist die ausgiebige Anwendung der erwähnten Allgemeinbegriffe auf die einzelnen Fragen. Ähnlich, wie seinerzeit die Lehre vom Zusammenhange der Wärmeenergie mit der mechanischen

Arbeit in gleicher Weise die Wissenschaft wie die Technik gefördert hat, so sehen wir gleichzeitig, nur noch viel zu unabhängig voneinander, die wissenschaftliche wie die technische Elektrochemie in einem überaus schnellen Entwicklungsgange begriffen, welcher aller Voraussicht nach die allgemeinen und technischen Verhältnisse in nicht geringerer Weise beeinflussen wird, als es seinerzeit die Dampfmaschine getan hat. Daß man eine solche Voraussicht wagen darf, liegt in folgendem Umstande begründet.

Wie alle physischen Vorgänge überhaupt, so kommen auch alle technischen in letzter Linie auf die Umgestaltung der Energie zurück; für jede Maschine läßt sich die Beziehung aufstellen: so und soviel Energie verbraucht sie, um so und soviel zu leisten. Als erste und allgemeinste Quelle der Energie dient nun die chemische Energie, welche wir durch Verbrennung der Kohle gewinnen, und die erste technische Frage ist daher die nach den Umwandlungen dieser chemischen Energie. Bisher ist diese Aufgabe durch die Dampfmaschine gelöst worden, mit dem Ergebnis, daß rund 15 Proz. der chemischen Energie in mechanische verwandelt werden; die übrigen 85 Proz. entweichen ungenützt. Da es nun ausschließlich die Energie ist, welche wir in den Kohlen kaufen und bezahlen – denn nur diese suchen wir aufzubewahren, während wir den Kohlenstoff des Brennmateriales so schnell wie möglich als Kohlensäure zum Schornstein hinausbefördern –, so bedingt die gegenwärtige Verwendung der Kohle eine bedeutende Verschwendung. Wie kann man dieser steuern? Ich habe bereits an einer anderen Stelle (S. 143) auseinandergesetzt, daß die Umwandlung der chemischen Energie des Brennmateriales in elektrische einen Weg darbietet, um diese Aufgabe zu lösen; damit sie aber gelöst werden kann, sind die wissenschaftlichen Hilfsmittel heranzuziehen, welche uns die neuere Entwicklung der Lehre von der chemischen Energie im Zusammenhange mit der elektrischen geliefert hat.

Die Frage, deren Beantwortung zur Lösung des alten Problems der chemischen Verwandtschaft geführt hat, klingt wieder ausgesprochen technisch; sie lautet: wie viel Arbeit läßt sich aus einem gegebenen chemischen Vorgange gewinnen? Man hat anfangs geglaubt, diese Arbeit sei einfach der Wärmeentwicklung des Vorganges äquivalent, hat sich aber bald überzeugen müssen, daß diese thermochemische Verwandtschaftslehre, welche noch bis vor kurzem von Berthelot mit der ganzen Autorität seines Namens verteidigt wurde, den Tatsachen nicht entspricht. Den entscheidenden Punkt hat Helmholtz am klarsten bezeichnet: für jeden Vorgang, der mit einer Energieänderung verbunden ist (eigentlich ist dieser Zusatz ein Pleonasmus) gibt es einen gewissen Betrag von Energie, welcher frei in andere Formen verwandelbar ist, und der deshalb die freie Energie genannt wird. Dieser Betrag ist von der gesamten Energieänderung im allgemeinen verschieden, hängt aber ebenso wie diese nur von dem Anfangs- und Endzustande, nicht aber von dem Wege ab, welcher zwischen beiden zurückgelegt wird. Kann man daher auf irgend einem Wege die freie Energie ermitteln, so gilt dieser Wert auch für alle anderen möglichen Wege, vorausgesetzt nur, daß alle Wege umkehrbar sind.

Die Berechnung der freien Energie gelingt nun leicht für den Fall eines vollkommenen Gases, und für Vorgänge, bei denen Gase auftreten, war damit die Aufgabe im Prinzip gelöst. Für den Chemiker war das mehr ein Grund zur Sehnsucht als zur Befriedigung, denn chemische Vorgänge zwischen Gasen allein gehören zu den seltensten. Man kann sich daher vorstellen, was für ein unabsehbares Gebiet sich plötzlich der Forschung auftat, als durch J. H. van t'Hoff die Gültigkeit der Gasgesetze für gelöste Stoffe nachgewiesen wurde. Alsbald konnten für eine der größten und wichtigsten Klassen der chemischen Vorgänge die Beträge der freien Energie bestimmt werden, und für die Lehre von der chemischen Verwandtschaf

d. h. die Lehre von den Energiegesetzen der chemischen Vorgänge, war die sichere Grundlage gegeben.

Es kann hier meine Aufgabe nicht sein, auch nur eine Skizze der Erfolge zu geben, welche alsbald auf Grund dieser Entdeckung erreicht worden sind. Es war nur hierauf hinzuweisen, daß damit gleichzeitig auch die Grundlage der wissenschaftlichen Elektrochemie bezüglich des Zusammenhanges zwischen der chemischen und der elektrischen Energie gegeben war. Vollkommen entsprechend dem früheren Irrtum über die Verwandelbarkeit der chemischen Energie in der Verwandtschaftslehre bestand ein gleicher Irrtum bezüglich der Umwandlung chemischer Energie in elektrische; auch hier nahm man die vollständige Umwandlung an, der zufolge gemäß dem Faradayschen Gesetze die elektromotorische Kraft einer Kette der Wärmeentwicklung des in ihr erfolgenden chemischen Vorganges proportional sein sollte. Die Übereinstimmung dieser Annahme mit der Erfahrung in einem der wichtigsten Fälle, beim Daniellschen Elemente, hat einen so festen Glauben an die Richtigkeit dieser Ansicht veranlaßt, daß noch heute eine große Anzahl von Männern, nicht nur Praktikern, sich von dem hier vorliegenden Irrtum nicht überzeugen lassen will.

Konnte aber die freie Energie des Vorganges in der galvanischen Kette berechnet werden, so war für diese jener Schluß vollkommen berechtigt: die freie chemische Energie des Vorganges muß gleich der aus ihm zu erhaltenden elektrischen Energie sein, denn sie ist ja vom Wege unabhängig.

Noch bevor das Gesetz von van t'Hoff bekannt war, hat Helmholtz die Aufgabe in einem Falle, nämlich dem der Konzentrationsketten*, gelöst, indem er die freie Energie durch einen anderen Vorgang, den der Dampfbildung aus der verdünnteren und der Kondensation in der konzentrierteren Lösung, ermittelte. Ist:

* Solche Ketten bestehen aus zwei gleichen Elektroden, welche in verschieden konzentrierte Lösungen von zwei Salzen des Elektrodenmetalls tauchen.

F diese freie Energie, bezogen auf ein Grammäquivalent der reagierenden Stoffe,

e die Konstante des Faradayschen Gesetzes, nämlich die mit einem Äquivalent irgend eines Ions wandernde Elektrizitätsmenge,

p die elektromotorische Kraft,

so ist ep die elektrische Energie der Kette, und da $ep = F$ sein muß, so folgt:

$$p = \frac{F}{e}$$

als allgemeine Formel zur Berechnung der elektromotorischen Kraft jeder beliebigen Kette.

Man sieht es der einfachen Formel nicht an, was für eine unübersehbare Fülle von Aufklärung sie in ihren Zeichen verbirgt; sie ist in dieser Beziehung nur der Ohmschen Formel zu vergleichen. Der Verfasser hat vor einiger Zeit Gelegenheit gehabt, die Aussagen der Formel in weitem Umfange mit den Tatsachen zu vergleichen*; man darf sagen, daß kein irgendwie wichtiger Fall in dem gesamten Gebiete der Elektrochemie gewesen ist, der nicht durch die Formel seine Aufklärung oder Berichtigung gefunden hätte. Und seitdem ist eine noch reichlichere Gelegenheit zur Prüfung der Ergiebigkeit und Bedeutung der Formel vorhanden gewesen. Durch ihre Anwendung ergaben sich zahlreiche Schlüsse, welche an der Erfahrung noch nicht geprüft worden waren. Diese Prüfung wurde nach allen Seiten vorgenommen und hat keinen einzigen Fehlschlag gezeigt.

Der Forscher, welchem wir diese Betrachtungsweise verdanken, wenn er sie auch zuerst in scheinbar ganz anderer Gestalt gegeben hatte, ist Walter Nernst, damals Assistent und Privatdozent in Leipzig, jetzt Professor in Göttingen. Indem er mittels des Gesetzes von van t'Hoff und der inzwischen von Svante Arrhenius aufgestellten Theorie der freien Ionen die bei dem elektrischen Vorgange in der Kette auftretenden

* Lehrbuch der Allgemeinen Chemie II, 823 bis 1005. Leipzig 1893.

ponderomotorischen, osmotischen und elektrostatischen Kräfte berechnete, erhielt er ein Ergebnis, welches vollkommen der oben gegebenen Gleichung entspricht. Durch die anschauliche Deutung einer in seinen Gleichungen auftretenden Integrationskonstante als eines Lösungsdruckes der Elektrode hat er einen weiteren wichtigen Schritt für die Aufklärung der Vorgänge in der Kette getan.

Auf Grund dieser Fortschritte und insbesondere auch einer klareren Einsicht in die Bedingungen, unter denen sich chemische Energie überhaupt in elektrische verwandelt, haben sich nun die allgemeinen Verhältnisse angeben lassen, welche eingehalten werden müssen, um in technisch brauchbarer Weise die unmittelbare Umwandlung der chemischen Energie des Brennmateriales in elektrische zu bewerkstelligen. Es braucht hierauf im einzelnen nicht eingegangen zu werden, da später an gleicher Stelle diese Dinge eingehend behandelt werden sollen; nur so viel soll gesagt werden, daß grundsätzlich der Benutzung dieses Weges nirgendwo ein Hindernis entgegenzustehen scheint.

Aber dies ist nicht die einzige Seite, auf der die wissenschaftliche Elektrochemie technische Aufklärung bringt. Ebenso wie chemische Energie in elektrische verwandelt werden kann, läßt sich elektrische in chemische verwandeln, und auch hier liegen die Verhältnisse dank den wissenschaftlichen Fortschritten viel klarer als früher. Wie schon oben in dem Falle der Kohle angedeutet wurde, liegt der Wert der chemischen Erzeugnisse in ihren Energieverhältnissen; Chlorkalk ist deshalb ein wertvoller Stoff, weil er einen ziemlich bedeutenden Überschuß chemischer Energie als Oxydationsmittel besitzt, und alle seine Anwendungen kommen auf eine Benutzung dieses Überschusses hinaus; die besonderen chemischen Elemente, an die dieser Überschuß gebunden ist, sind uns sehr gleichgültig. Statt nun diese chemische Energie dem Erzeugnis durch den verwickelten Vorgang mitzuteilen, welcher jetzt bei der Her-

stellung befolgt wird, kann man viel einfacher durch geeignete Anwendung der elektrischen Energie diese chemische hervorbringen: durch Elektrolyse einer Lösung von Chlornatrium erhält man unter geeigneten Umständen unmittelbar eine Lösung, welche diesen Überschuß in Gestalt von unterchlorigsauren Salzen besitzt, den sie als elektrische Energie aufgenommen hat. Dies ist ein Beispiel für viele; und es kann allgemein ausgesprochen werden, daß bei weitem die meisten und wichtigsten Gebiete der chemischen Technik einer ähnlichen Behandlung fähig sind. Dabei hat die elektrische Energie bei ihrer Umwandlung noch die besondere Eigenschaft, daß sie streng lokalisiert ist, nämlich an der Oberfläche der Elektroden. Für manche Zwecke ist dies nicht erwünscht, und dann beseitigt man den Umstand durch Rührwerke und dergl.; für viele andere Zwecke ist es aber ein sehr erheblicher Vorteil, für dessen Ausnutzung noch ein weites Feld offen steht.

Es ist vielleicht nicht überflüssig, auch hier hervorzuheben, daß die für eine solche Umwandlung erforderliche elektrische Energie wieder nicht durch den thermochemischen Unterschied der ursprünglichen Stoffe und der Produkte zu messen ist, sondern durch den Unterschied der freien Energien. Dazu kommt dann noch der technisch unvermeidliche Energieaufwand zum Zwecke der Beschleunigung des Vorganges: ein Posten, welcher bei jeder Energieumwandlung auftritt, da die theoretisch vollendeten umkehrbaren Vorgänge alle die Eigenschaft haben, unendlich langsam zu verlaufen und nur durch die Vernutzung eines Überschusses freier Energie auf die technisch erwünschte Geschwindigkeit gebracht werden können.

Nachdem so die allgemeinen Gesichtspunkte festgestellt worden sind, wird es möglich sein, in künftigen Darlegungen das Wesentliche der einzelnen Fortschritte, welche die Elektrochemie in den letzten Jahren gemacht hat, weit kürzer zu kennzeichnen, als es ohnedies möglich wäre.

5

ÜBER DEN ORT DER ELEKTROMOTORISCHEN KRAFT IN DER VOLTASCHEN KETTE.

(Vortrag, gehalten auf der zweiten Hauptversammlung der Deutschen elektrochemischen Gesellschaft 1895.)

Heutzutage, wo das Problem der Voltaschen Kette im wesentlichen als gelöst zu bezeichnen ist, gewährt es ein besonderes Interesse, die Entwicklung der Wissenschaft bis zu diesem Punkte zu verfolgen und von dem inzwischen gewonnenen höheren Standpunkte aus die einzelnen Schritte zu beurteilen, welche im Laufe der Zeiten nach dem Ziele hin getan worden sind. Sind uns doch solche Studien ein unschätzbarer Führer durch die Wildnis des noch Unerforschten, und wenn irgend ein Umstand uns über die große Summe verlorener Energie trösten kann, welche auf den zahllosen Irrwegen geblieben ist, die man vor der Auffindung des richtigen Weges versucht hat, so ist es die Aussicht, daß diese einmalige Überwindung der intellektuellen Reibungswiderstände für die Zukunft eine glattere Bahn schaffen und dementsprechend den Betrag der durch die Reibung entstehenden verlorenen Wärme vermindern wird, welche bei diesen früheren Gelegenheiten oft eine bedenkliche hohe Temperatur angenommen hatte.

Es ist zur Genüge bekannt, daß Galvani die von ihm entdeckten Erscheinungen zuerst einer besonderen tierischen

Elektrizität zugeschrieben hatte, die er als von der gewöhnlichen Elektrizität verschieden und mit der sogenannten Lebenskraft für identisch ansah. Voltas unsterbliches Verdienst ist, diesen Irrtum beseitigt und den galvanischen Vorgängen die Stelle angewiesen zu haben, welche sie heute noch einnehmen: die Stelle rein physikalischer Erscheinungen. Durch die Erfindung seiner Säule gab er den Forschern das Mittel, die Wirkungen des elektrischen Agens, wie es bei der Berührung verschiedener Stoffe sich betätigt, fast in das Unbegrenzte hinaus zu steigern und die elektrische Natur der Erscheinungen vollkommen außer Zweifel zu setzen.

Die Ursache oder Kraft, welche die an der Säule zu beobachtenden Vorgänge hervorbringt, nannte Volta die elektromotorische Kraft; die Stelle ihrer Wirksamkeit suchte er in folgerichtiger Deutung der Tatsachen an den Berührungsstellen der verschiedenen Leiter, aus denen sich der elektromotorische Apparat zusammensetzt. Die typische Form desselben ergab sich bald: es war die Zusammenstellung zweier Metalle mit einem feuchten Leiter oder zweier Leiter der ersten mit einem der zweiten Klasse. Schließt man eine solche Zusammenstellung in sich, so findet in dem Kreise der elektrische Vorgang statt, und es entsteht die Frage: welche von den drei Berührungsstellen enthält die treibende Kraft? oder, wenn an allen drei Berührungsstellen solche Kräfte vorhanden sind, wie setzen sich diese zusammen?

Volta war anfangs geneigt, als den Ort dieser Kräfte die Berührungsstellen zwischen den Metallen und dem feuchten Leiter anzusehen. Doch suchte er naturgemäß nach experimentellen Entscheidungen und diese sprachen dafür, daß die Kraft an der Berührungsstelle der verschiedenen Metalle ihren Sitz habe und nicht, oder nur in geringem Grade an den Berührungsstellen zwischen dem feuchten Leiter und den Metallen.

Die Entscheidung war folgenreich im höchsten Grade und es hat deshalb ein besonderes Interesse, die Gründe zu prüfen,

auf welche hin Volta sie gefällt hatte. Dieser Gründe waren zwei: ein schlechterer und ein besserer.

Der schlechte Grund oder schlechte Versuch bestand darin, daß Volta zwei aufeinander abgeschliffene Platten von verschiedenem Metall, z. B. Zink und Kupfer, aufeinander legte, sie „möglichst parallel" abhob und dann am Elektrometer prüfte: es erwies sich dann das Zink als positiv, das Kupfer als negativ elektrisch. Der Versuch kann nicht anders als bedenklich genannt werden, denn er gelingt keineswegs allemal, und wenn er gelingt, so zeigt er von Fall zu Fall bedeutende Unterschiede in der Spannung der beobachteten Elektrizität. Wir können ihn also zunächst auf sich beruhen lassen.

Der zweite Versuch ist dagegen zunächst als gut und einwandsfrei zu bezeichnen. Es wurden zwei Platten von verschiedenem Metall einander genähert, es wurde dann die elektrische Verbindung zwischen beiden durch einen Draht von einem der Metalle hergestellt, dann der Draht und die Platten entfernt und auf ihre Spannung untersucht: die Zinkplatte zeigt sich immer positiv, die Kupferplatte negativ elektrisch.

Voltas Deutung dieses Versuches war die folgende: Zink und Kupfer haben an ihrer Berührungsstelle eine elektromotorische Kraft, welche die positive Elektrizität nach dem Zink, die negative nach dem Kupfer treibt. Diese Bewegung geschieht so lange, bis eine bestimmte Spannung erreicht ist, und die Menge der in Bewegung gesetzten Elektrizität wird um so größer sein, je größer, um einen modernen Ausdruck zu brauchen, die Kapazität des Gebildes ist. Die Anordnung der parallelen Platten dient nur dazu, diese Kapazität zu vermehren, damit bei dem späteren Trennen der Platten, wo die Kapazität wieder kleiner wird, die auf den einzelnen Platten befindlichen Elektrizitätsmengen eine höhere Spannung annehmen und somit leichter nachzuweisen sind.

Gegen den Versuch läßt sich nur einwenden, daß auf die Berührungsstellen zwischen den beiden Metallen und der Luft,

in welcher der Versuch geschah, keine Rücksicht genommen worden ist. Aber auch dieser Einwand fiel, wenn er auch nicht ausdrücklich von Volta berücksichtigt worden ist, durch den Umstand, daß auch andere isolierende Zwischenschichten, z. B. solche von Harzfirnis, den gleichen Erfolg erkennen ließen. Es war somit so sicher, als es der Standpunkt der Zeit erlaubte, festgestellt, daß das Dielektrikum keinen Einfluß auf das Auftreten der Spannung bei dem Versuche hat, daß also die Ursache der Erscheinung in dem bei den verschiedenen Versuchen unverändert bleibenden Teile: der Berührung der Metalle liegen mußte.

Dies Ergebnis gab Anlaß zu einem überaus merkwürdigen Schlusse. Wirkt nämlich in der Berührungsfläche zweier verschiedener Metalle eine elektromotorische Kraft, so muß man durch geeignete Zusammenstellungen verschiedener Metalle eine Kette erhalten können, welche beständig einen elektrischen Strom erzeugt, ohne sich im übrigen zu verändern. Eine solche Säule mußte daher ein wahres perpetuum mobile sein. Volta hat tatsächlich nicht versäumt, diesen Schluß zu ziehen, und hat offenbar vielfältig nach dieser Richtung experimentiert. Das Ergebnis war negativ: keine Zusammenstellung von Metallen ergab eine elektromotorische Kraft, die größer gewesen wäre, als die beiden äußersten Metalle sie allein gegeben hätten. Die Metalle verhielten sich so, als entwickelten sie nur dann ihre elektromotorische Kraft, wenn sie einerseits von einem feuchten Leiter oder Dielektrikum begrenzt sind, und als verlören sie diese Eigenschaft, wenn sie beiderseits an andere Metalle grenzen. Ein solches Ergebnis spricht offenbar wieder sehr zu gunsten der ersten Annahme, daß die Berührungsstellen zwischen dem Metall und dem nichtmetallischen Stoff der Ort der elektromotorischen Kraft sind. Aber diese Deutung war nicht die einzige, und wenn auch die andere mögliche Deutung einigermaßen ungewohnt war, so konnte sie doch immerhin nicht als falsch bezeichnet werden. Man konnte nämlich auch

annehmen, daß zwar die verschiedenen Metalle immer elektromotorisch aufeinander wirken, daß aber die Zahlenbeträge dieser Wirkung derart sind, um sich gegenseitig so aufzuheben, daß nur das angegebene Resultat übrig bleibt.

Dies ist die Quelle des Voltaschen Spannungsgesetzes. Man kann nicht umhin, die Geistesschärfe dieses großen Mannes zu bewundern, der aus der scheinbar hoffnungslosen Lage seiner Theorie diesen sinnreichen Ausweg fand. Auch imponierte tatsächlich der Gedanke den Zeitgenossen außerordentlich; während bis dahin aus den chemischen Zersetzungserscheinungen der Kette von allen Forschern, die sich mit ihr beschäftigt hatten, einstimmig der Schluß gezogen war, daß auch die Erregung der Elektrizität in der Säule die Folge eines chemischen Vorganges sei, so schlossen sich nun fast ebenso einstimmig die Forscher der Voltaschen Ansicht an, sowie dessen scharfsinnige Wendung bekannt gemacht worden war.

Allerdings mußte sich Volta, um auf seinem Standpunkte bleiben zu können, einigermaßen gewaltsam gegen die Berücksichtigung der chemischen Seite seiner Erfindung verschließen. In seinem ersten Berichte ist nichts über die Wirkung seiner Säule auf zersetzbare Körper enthalten. Man kann sich heute kaum vorstellen, wie diese wichtigen und merkwürdigen Erscheinungen ihm haben entgehen können, denn aus seinen eigenen Worten geht hervor, daß Volta die Leitungsdrähte seiner Kette gleichzeitig in ein und dasselbe Gefäß mit Wasser getaucht hat, ohne doch die Zersetzung desselben und die Gasentwicklung an den Polen zu bemerken, welche anderen Forschern, wie Ritter und Nicholson und Carlisle sofort auffielen, wie sie nur ihre ersten Versuche mit der Säule anzustellen begannen.

Volta hatte den eben erwähnten Versuch gemacht, um für die Ähnlichkeit seiner Säule mit dem elektrischen Organ der Zitterfische einen Beleg zu finden, indem er sich überzeugen wollte, ob auch eine seitliche Ausbreitung des elektrischen

Schlages stattfindet, wenn man die Säule, statt sie unmittelbar durch den Körper zu schließen, durch Wasser schließt und die Hände in der Nähe eintaucht. Die Aufmerksamkeit, welche die Feststellung dieses Ergebnisses von ihm beanspruchte, scheint ihn gegen die andere, so unendlich viel wichtigere Erscheinung, die seine Säule unter diesen Umständen darbot, blind gemacht zu haben, und so sehen wir hier die merkwürdige Tatsache, daß der Erfinder der Säule ihre wichtigste Eigenschaft vor Augen gehabt hat, ohne sie zu sehen.

Die Akkomodation an die unerwartete Auffassung, welche Volta von ihnen verlangte, hatte den Forschern zunächst eine solche Anstrengung verursacht, daß die Kraft zu ihrer Prüfung nicht mehr ausreichte. Es trat hier ein, was Lichtenberg von gewissen philosophischen Theorien sagt: sie seien so schwer zu verstehen, daß jeder, der sie verstanden hat, aus diesem Grunde allein glaubt, sie müßten richtig sein. Unmittelbar nach der Aufstellung der Voltaschen Theorie schweigt aller Widerspruch, und selbst der glänzende Entdecker Davy und der scharfsinnige Kritiker Berzelius, welche beide vorher Anhänger einer chemischen Theorie des Voltaismus gewesen waren, bekennen sich fortan als Jünger Voltas.

Indessen scheinen die unbedingten Anhänger der Voltaschen Lehre, insbesondere der Kieler Physiker Pfaff, ihres Sieges sich nicht recht sicher gefühlt zu haben, denn sie erwiesen sich fortwährend als außerordentlich empfindlich gegen jeden Zweifel an der orthodoxen Lehre und verteidigten diese immer wieder von neuem, ohne daß man besonderer Gründe dafür in Gestalt nachdrücklicher Angriffe hätte gewahr werden können. Es war dies wohl ein Ausdruck für ihr heimliches und uneingestandenes Gefühl, daß ihre Sache doch nicht ganz in Ordnung sei, so rund und glatt auch die Voltasche Theorie die Tatsachen zu erledigen gestattete. Der völlige Verzicht auf die Berücksichtigung der chemischen Verhältnisse, deren maßgebende Bedeutung für den ganzen Erscheinungskreis jedem

Unbefangenen in die Augen fallen mußte, war entschieden der schwache Punkt der *Voltaschen* Theorie; die Verteidiger aber suchten nicht den hier unleugbar vorhandenen Mangel zu ergänzen, sondern sie zogen sich, wenn derselbe geltend gemacht wurde, immer wieder auf die *formelle* Unangreifbarkeit der Kontakttheorie zurück. Man konnte sie nicht widerlegen, sie aber konnten ihrerseits keinen Vertreter der anderen Seite überzeugen.

Dazu kam noch auf der anderen Seite, der chemischen, ein ebenso unzweifelhafter Mangel ihrer Ansichten. Der von den Vertretern der chemischen Theorie aufgestellte Satz lautete, daß die Entwicklung der Elektrizität in der Kette eine Folge der dort stattfindenden chemischen Vorgänge sei. Dagegen wurde in den mannigfaltigsten Formen immer wieder der eine Einwand geltend gemacht: es gibt Ketten mit sehr starker chemischer Wirkung, in denen der Strom sehr schwach ist, und umgekehrt Ketten mit sehr geringer chemischer Wirkung, die einen starken Strom geben. Folglich können die beiden Dinge nicht im Verhältnis von Ursache und Wirkung oder von gegenseitiger Bedingtheit stehen. Man kann nicht sagen, daß es den Chemikern gelungen wäre, diesen Einwand in zufriedenstellender Weise zu erledigen, und ganz ähnliche Vorwürfe, wie wir sie den Kontakttheoretikern machen mußten, sind auch hier am Platze.

So verlief insbesondere ein in den dreißiger Jahren des vorigen Jahrhunderts von dem Genfer Physiker *de la Rive* unternommener Feldzug gegen die Kontakttheorie im wesentlichen resultatlos; ja, durch einige im Eifer des Gefechtes geschehene Behauptungen, die sich in der Folge nicht aufrecht erhalten ließen, brachte er an einzelnen Stellen die von ihm verteidigte Ansicht in eine schlechtere Position, als sie vorher eingenommen hatte.

Wir können die einzelnen Phasen dieses langen Streites ht an dieser Stelle verfolgen; ich habe sie eben in einem

ausführlichen Werke (37) zu schildern versucht und muß hier auf dieses verweisen. Als bemerkenswerteste Tatsache in der ersten Hälfte dieser Entwicklung will ich nur den einen Umstand hervorheben, daß selbst ein Naturforscher von dem Range Faradays trotz seines rückhaltlosen Eintretens für die chemische Theorie der Voltaschen Erscheinungen nicht im stande war, seine Zeitgenossen auf seinen Standpunkt zu bringen, und daß auch nach der Entdeckung und Veröffentlichung seines Gesetzes, nach welchem kein Strom in einen Elektrolyten eintreten oder ihn verlassen kann, ohne eine proportionale chemische Zersetzung zu verursachen, die Gegner sich keineswegs überzeugt erklärten. Sie versuchten eben zu beweisen, daß das Faradaysche Gesetz nicht das Mindeste zu gunsten der chemischen Theorie aussage!

Mit dem Ende der dreißiger Jahre trat indessen ein entscheidender Gesichtspunkt auf, welchen Faraday am Ende seiner ausgedehnten Arbeiten geltend machte und welcher das Unhaltbare der Voltaschen Ansicht, das von den älteren Forschern zwar gefühlt, nicht aber klar ausgesprochen war, deutlich ins Licht stellte. Es war der Einwand, daß die von Volta angenommene Kontaktkraft die Eigenschaft haben müsse, ins Unbegrenzte Bewegung und Arbeit aus nichts zu schaffen. Wir wissen es jetzt klar, daß es die Verletzung des Energieprinzipes war, worin der Fehler der Voltaschen Ansicht bestand, und wir halten sie durch einen solchen Nachweis für vollkommen widerlegt. Nicht so der überzeugte Anhänger Voltas, Pfaff. Er „bewies" im Gegenteil, daß im Wesen einer wirklichen fundamentalen Kraft die Unerschöpflichkeit liege und daß somit gerade die Ansicht Voltas die bessere sei. Es ist von großem Interesse, die letzte der vielen Schriften, vom Jahre 1845, die Pfaff zur Verteidigung der Voltaschen Lehre geschrieben hat (38), durchzulesen. Man findet dort, daß er sich mit keinem anderen als Julius Robert Mayer, dem Entdecker des Energieprinzipes, beschäftigt und dessen Aufsatz über die

Kräfte der unbelebten Natur, von dem wir heute eine neue Epoche der Naturwissenschaft rechnen, einer wohlwollenden aber „vernichtenden“ Kritik unterzieht. In dem freundlichen Tone dessen, der es viel besser weiß und sich deshalb über die Irrtümer des Anfängers nicht besonders ereifert, belehrt er ihn über das Wesen einer wahren Naturkraft und benutzt seine Abhandlung, um die Irrtümer aufzuweisen, in die man geraten kann, wenn man deren Eigenschaft der Unerschöpflichkeit verkennt. Es dürfte selten in der Geschichte der Wissenschaft sich eine so gute Gelegenheit bieten, die fundamentale Neuheit der Anschauungsweise der Energielehre sich in eindringlichster Weise vor Augen geführt zu sehen, wie in dieser Schrift Pfaffs und der, welche er zum Gegenstande seiner Kritik macht.

Zu gleicher Zeit mit diesem seltsamen Schauspiele entwickelte sich die Angelegenheit um einen sehr erheblichen Schritt durch das Eingreifen eines Mannes, dessen Namen man sonst bei Gelegenheit der Elektrochemie nicht oft genannt findet. Es ist dies der Engländer Joule, der etwas spätere Mitentdecker des mechanischen Wärmeäquivalents. Joules Weg zu seinen hier zu besprechenden Entdeckungen war der folgende. Es waren um jene Zeit eben die merkwürdigen Eigenschaften der Elektromagnete entdeckt worden, und die alle Erwartungen übersteigenden Anziehungskräfte, welche diese schon bei mässigen Dimensionen zeigten, ließen sehr weitgehende Hoffnungen für ihre Anwendung in Maschinen hegen. In diesem Sinne beschäftigte sich auch Joule mit den Elektromagneten und mit den dazu erforderlichen Strömen. Die Erwärmung der Drähte, welche bei der Anwendung kräftigerer Ströme eintrat, war ein unbequemes Hindernis, und um dieses erfolgreich zu beseitigen, machte er sich daran, die Gesetze der Erscheinung kennen zu lernen. Er fand das nach ihm benannte Gesetz, wonach die Erwärmung dem Widerstande des Leiters und dem Quadrat der Stromstärke in ihm proportional ist.

In dieser Gestalt sieht das Gesetz nicht sehr weitreichend aus, doch verstand Joule in bemerkenswerter Weise die Kunst, ein solches Gesetz gleichsam zum Reden zu bringen. Er wandte es auf den ganzen Stromkreis an; es nimmt dann unter Benutzung des Ohmschen Gesetzes die einfache Gestalt $W = eit$ an, wo W die entwickelte Wärme, e die elektromotorische Kraft, t die Zeit und i die Stromstärke bedeutet. Da der Stromstärke auch die in der Kette aufgelöste Zinkmenge nach dem Faradayschen Gesetz proportional ist, so folgt, daß die in der gesamten Kette entwickelte Wärme der aufgelösten Zinkmenge proportional sein muß. Sofort sah Joule beide Erscheinungen im Verhältnis von Ursache und Wirkung an: die vom Zink entwickelte Wärmemenge sah er durch den Strom überall in den Leiter hinausgetragen, und statt daß sie am Orte erscheint, wo das Zink sich auflöst, erscheint sie überall im Kreise gemäß dem dort vorhandenen Widerstande. Hieraus zog Joule einen weiteren hypothetischen Schluß; er betrachtete die Elektrizitätsentwicklung als das Primäre bei jedem chemischen Vorgange, und die beim bloßen Auflösen des Zinks in Säure entwickelte Wärme ließ er dadurch entstehen, daß zunächst Elektrizität entwickelt würde, welche sich an Ort und Stelle strömend ausgleiche und dadurch die Wärme entwickle, die wir dem chemischen Vorgange unmittelbar zuzuschreiben pflegen.

Um die Bedeutung dieses Schrittes zu würdigen, muß man sich überlegen, daß diese Arbeit im Jahre 1841, ein Jahr vor der Veröffentlichung der Entdeckung des mechanischen Wärmeäquivalents durch J. R. Mayer und zwei Jahre vor Joules gleicher Entdeckung mitgeteilt worden ist. Es ist der hier eingeschlagene Weg, welcher Joule zu seiner Entdeckung geführt hat, und schon deshalb verdient die Angelegenheit in höchstem Maße unser Interesse.

Die uns jetzt so naheliegende Gleichsetzung der chemischen Energie in der Kette mit der elektrischen, welche sie liefert,

vermochte Joule damals noch nicht vollkommen auszusprechen; diesen Schritt tat er erst zehn Jahre später in einer gemeinsamen Arbeit mit William Thomson. Inzwischen war derselbe aber von einem Manne getan worden, dem wir viele Jahre später einen anderen, noch bedeutungsvolleren verdanken sollten. In seiner Jugendarbeit über die Erhaltung der Kraft, welche so überreich an neuen Gedanken und Einsichten ist, spricht Helmholtz die Beziehung zwischen der elektromotorischen Kraft einer Voltaschen Kette und der Wärmeentwicklung der in ihr stattfindenden chemischen Vorgänge aus, welche sich aus der Anwendung des Faradayschen Gesetzes und der Voraussetzung ergibt, daß die chemische Wärme vollständig in elektrische Energie übergeht: beide Größen müssen dann einfach proportional sein.

Dieselbe Erscheinung, welche wir vorher bei der Voltaschen Theorie gesehen haben, wiederholte sich hier. Das Verständnis der Lehre von der Erhaltung der Energie begegnete zu jenen Zeiten solchen Schwierigkeiten, die durchschnittlichen Köpfe hatten solche Mühe, sich mit den neu gewonnenen Gesichtspunkten vertraut zu machen, daß die einzelnen mittels derselben erlangten Verallgemeinerungen nicht mehr auf die Richtigkeit ihrer anderweiten Voraussetzungen geprüft, sondern einfach angenommen wurden. So erklärt sich, daß bei den nun folgenden Untersuchungen über diese Frage die Widersprüche, welche zwischen diesem Helmholtz-Thomsonschen Satze und der Erfahrung sich herausstellten, keinen Zweifel an der Richtigkeit des Satzes selbst hervorzurufen vermochten, sondern nur allerlei Bemühungen erzeugten, diese Widersprüche, so gut es ging, wegzuinterpretieren.

Die Frage nach dem Sitz der elektromotorischen Kraft in der Kette war dadurch allerdings noch nicht unzweifelhaft entschieden; wohl aber blieb kein Zweifel übrig, daß die Quelle dieser Kraft nur der chemische Vorgang sein konnte, und daß, wenn die von Volta angenommenen und experimentell auf-

gezeigten Spannungsunterschiede zwischen den Metallen bestehen, diese für die Entstehung und den Unterhalt des Stromes nicht in Betracht kommen konnten. Ein gewisser Widerspruch blieb allerdings bestehen, insofern als man Spannungsunterschiede sowohl an den Berührungsstellen der Metalle untereinander, wie mit den Elektrolyten annahm; von diesen Spannungen durften aber nur die letzteren den Strom treiben, während die anderen untätig zusehen mußten. Man muß gestehen, daß es schwer fällt, sich dieses Verhältnis physikalisch klar zu machen.

So blieb die Situation lange Zeit. Inzwischen hatte Robert Kohlrausch als der erste nach der Voltaschen Methode die einzelnen Spannungen an den verschiedenen Berührungsstellen der Voltaschen Kette exakt gemessen und andere waren ihm gefolgt. Das Bild, das sich hierbei zeigte, war nichts weniger als schön; jeder Beobachter erhielt andere Resultate, und auch jeder einzelne Beobachter mußte feststellen, daß diese Grundzahlen der Voltaschen Theorie sich von zahllosen Umständen abhängig erwiesen, die zu beherrschen unmöglich erschien. Dagegen waren die inzwischen erfundenen konstanten Ketten, insbesondere die Daniellsche, in der Tat von einer höchst bemerkenswerten Beständigkeit. Für den unbefangenen Beobachter mußte sich der Gedanke unabweisbar geltend machen, daß in diesen Ketten erst die Bedingungen des Voltaschen Apparates vollständig geregelt sind, und daß sie, nicht aber die Ketten mit einer Flüssigkeit den Normalfall der Voltaschen Kette darstellen.

Wir gelangen nun zu einem sehr interessanten Punkte in unserer Geschichte. Im Jahre 1873 begann Helmholtz, der in seiner Jugendschrift die Frage des Voltaismus nur theoretisch bearbeitet hatte, diesem Gebiete experimentell näher zu treten, indem er zunächst die Frage der galvanischen Polarisation sowohl selbst bearbeitete, wie durch seine Schüler bearbeiten ließ. Er fand auf diesem Wege die erste Berechnung einer

elektromotorischen Kraft einer Hydrokette aus anderen physikalischen Daten. Zwar erschien das gewonnene Ergebnis noch recht bescheiden: es handelte sich nur um die Konzentrationsketten, d. h. solche Ketten, welche aus zwei verschieden konzentrierten Lösungen von Metallsalzen mit gleichen Elektroden aus dem betreffenden Metall bestehen, und deren elektromotorische Kräfte so gering sind, daß sie den Betrag von einigen Zehntelvolt nicht überschreiten. Aber es war doch ein prinzipiell ungemein wichtiger Schritt damit geschehen, und wie die Folge gezeigt hat, brauchte nur der gewiesene Weg verfolgt zu werden, um zum Ziele zu führen.

Helmholtz befindet sich in seinen Mitteilungen über diese Forschungen zuerst noch ganz auf dem Boden seiner älteren Anschauung; ja, er hat seine frühere vorsichtige Ausdrucksweise aufgegeben, und erklärt, daß die Beziehung zwischen elektromotorischer Kraft und Wärmetönung durch das Gesetz von der Erhaltung der Energie gefordert sei. Er ist selbst später, wenn auch nicht der erste, so doch der erfolgreichste gewesen, um diesen Irrtum zu verbessern. In der Tat verlangt dies Gesetz nur, daß die Summe aller stattfindenden Energieveränderungen gleich Null ist, nicht aber, daß gerade nur elektrische Energie an Stelle der chemischen erscheinen soll, und keine Wärme daneben erscheinen darf.

Die von Helmholtz für das Konzentrationselement gefundene Gleichung stand mit seiner Annahme tatsächlich in Widerspruch, denn sie enthielt als maßgebenden Faktor für die in diesen Ketten auftretenden elektromotorischen Kräfte keineswegs die Wärmeentwicklung, sondern ganz andere Größen, welche dieser nicht proportional sind; die Wärmeentwicklung bei dem in diesen Ketten stattfindenden Vorgange konnte ebensogut positiv wie negativ sein, ohne daß dies einen Einfluß auf die elektromotorische Kraft hatte.

Einem Manne wie Helmholtz konnte dieser Widerspruch nicht lange verborgen bleiben, zumal sich ähnliche Widersprüche

bei einer anderen experimentellen Frage ergaben, mit der er sich sehr lange beschäftigt hat. Es war dies die Frage nach der elektromotorischen Kraft der galvanischen Polarisation. Nach jener älteren Ansicht würde eine elektromotorische Kraft von etwa anderthalb Volt dazu gehören, um eine Elektrolyse des Wassers zu bewirken; mit 1,2 bis 1,3 Volt geht sie aber schon ganz stetig vor sich. Zwar hatte Helmholtz in der elektrolytischen Konvektion eine Erklärung für gewisse Stromreste bei geringeren elektromotorischen Kräften in einem Voltameter gefunden; hier aber reichte die Erklärung nicht mehr aus, denn die nun eintretenden Ströme sind keine Konvektionsströme mehr.

Das Ergebnis seines Nachdenkens über die Frage hat seinen Ausdruck in den drei berühmten Abhandlungen über die Thermodynamik chemischer Vorgänge gefunden, in denen die Frage nach der Art der Umwandlung chemischer Energie in andere Formen in allgemeiner und anschaulicher Weise gelöst wird, und welche nur auf den besonderen Fall der Voltaschen Kette angewendet zu werden brauchte, um eine entsprechende Theorie der Kette zu geben. Insbesondere ergab sich die bereits bekannte Formel der Konzentrationskette unmittelbar aus der Anwendung der allgemeinen Prinzipien, die über die freie Energie aufgestellt worden waren.

Auf die weitere Entwicklung der Frage will ich heute nicht eingehen; auch soll nur kurz erwähnt werden, daß schon vor Helmholtz die gleichen Ergebnisse von Willard Gibbs in seiner unergründlich gedankenreichen Arbeit über das Gleichgewicht der heterogenen Stoffe (39) erhalten worden waren, wenn sie auch wegen der überaus abstrakten Form der Darstellung zunächst keine Wirkung geübt hatten, und daß in bezug auf die Kritik jenes älteren Satzes bereits Edlund und Braun vorausgegangen waren. Auch die neue verbesserte Theorie gab aber nur von den gesamten elektromotorischen Kräften der Ketten im Zusammenhange mit deren chemischen

Vorgängen Rechenschaft. War dadurch auch das kausale Verhältnis der beiden Größen über allen Zweifel hinaus festgelegt, so blieb doch immer die Frage übrig: wo sitzt die elektromotorische Kraft in der Kette?

Auch diese Frage können wir heute beantworten. Die Antwort hat sich auf einem Wege gefunden, dem man diesen Endpunkt nicht angesehen hätte. Es ist eine Erscheinung von fast spieligem Charakter, die wir als „Urphänomen" in Anspruch zu nehmen haben, und da vielleicht viele von Ihnen diesen hübschen Vorgang nicht gesehen haben werden, gestatte ich mir, den einfachen Versuch vorzuführen. In eine halbrunde Schale wird Quecksilber gegossen, welches einen großen Tropfen von einigen Zentimetern Durchmesser bildet. Auf das Metall kommt verdünnte Schwefelsäure, und nun füge ich etwas von einer verdünnten Kaliumchromatlösung dazu. Sie sehen alsbald eine Wirkung: der Tropfen wird flacher und breiter. Jetzt bringe ich einen zugespitzten Eisendraht seitlich durch die Säure an den Tropfen; in dem Augenblicke der Berührung zuckt das Quecksilber zusammen, und es bildet sich in kürzester Frist aus abwechselnden Zusammenziehungen und Ausdehnungen ein regelmäßiges Pulsieren heraus, das an die Tätigkeit des Herzens gemahnt, und demnach nie verfehlt, auf gelegentliche weibliche Besucher des Laboratoriums einen großen Eindruck zu machen, wenn es ihnen als das künstliche Herz vorgezeigt wird.

Nun, der Physiker sieht hier alsbald, daß es sich um einen galvanischen Vorgang zwischen dem Quecksilber, dem Eisen und der oxydierenden Flüssigkeit handelt, und daß die Erscheinungen durch die Veränderung der Oberflächenspannung mit der galvanischen Polarisation hervorgebracht wird. Die erste wissenschaftlich befriedigende Auffassung dieser auffälligen Erscheinung, welche seit den ersten Zeiten des Galvanismus bekannt ist — schon Ritter hatte eingehend darüber gearbeitet —, verdanken wir Gabriel Lippmann, dessen erste,

in Heidelberg ausgeführte wissenschaftliche Arbeit sie bildet. Lippmann stellte in mustergültiger Weise die Zusammenhänge zwischen Oberflächenspannung und dem Potentialsprung zwischen Quecksilber und Elektrolyt ins Klare, und ebnete so den Boden für den nächsten Schritt, den wir wieder Helmholtz verdanken.

Helmholtz ging auf die Frage ein, warum durch die Polarisation die Oberflächenspannung verändert wird, und fand die Erklärung in folgender Betrachtung. Haben Quecksilber und Elektrolyt verschiedene Potentiale, so findet notwendig an der Grenze beider eine Anhäufung von Elektrizität statt, wie etwa auf den beiden Platten eines Kondensators. Denken wir uns nun einen Kondensator aus dehnbarem Material hergestellt, so wird offenbar die Wirkung der elektrostatischen Anziehungen seiner Belegungen dahin gerichtet sein, den Kondensator immer breiter und flacher zu gestalten, d. h. seine Fläche zu vermehren und womöglich seine Dicke zu vermindern. Das Gleiche findet nun an der gesamten Grenzfläche statt: jede elektrische Ladung in derselben hat zur Folge eine Tendenz zur Vergrößerung der Oberfläche. Dabei ist es einerlei, welches Zeichen die Elektrizität auf einer bestimmten Seite, z. B. der Quecksilberseite, hat; die elektrostatische Wirkung ist immer dieselbe.

Diese Vergrößerungstendenz der Oberfläche wirkt nun der Oberflächenspannung entgegen, welche in jeder Oberfläche vorhanden ist, und welche bekanntlich die Fläche zu verkleinern strebt. Die tatsächlich beobachtete Oberflächenspannung ist der Unterschied der beiden Wirkungen und ihr Wert wird um so kleiner sein, je größer der Potentialsprung zwischen Quecksilber und Elektrolyt, und somit die Ladung dieses Kondensators ist.

Dies ist nun an sich ganz „interessant", scheint aber nicht eben folgenreich zu sein. Indessen steckt in diesen Überlegungen nichts weniger, als die Lösung des Problems selbst, mit dem wir uns hier beschäftigen. Nehmen wir den Queck-

silbertropfen unter bestimmten Bedingungen und ändern seinen Potentialunterschied gegen die Flüssigkeit, etwa durch Einschaltung einer kleinen elektromotorischen Kraft. Der Tropfen verhält sich in der Tat wesentlich wie ein Kondensator, wenn auch nicht wie ein vollkommen isolierter: es erfolgt ein Ladungsstrom, und alsdann nur ein schwacher Reststrom, der von Konvektion und dergleichen herrührt. Gleichzeitig hat sich die Oberflächenspannung geändert, und zwar ist sie, wenn wir das Quecksilber negativer gemacht haben, größer geworden. Wir dürfen daraus alsbald schließen, daß hierbei die Ladung unseres Kondensators kleiner geworden ist, indem die von seiner Ladung herrührende Beeinträchtigung der Oberflächenspannung geringer geworden ist. Das Quecksilber war also anfangs positiv gegen die Flüssigkeit. Wir gehen in demselben Sinne weiter: die Oberflächenspannung wächst immer noch. Dies dauert an, bis in dem vorliegenden Falle, Quecksilber unter verdünnter Schwefelsäure, etwa ein Volt zwischengeschaltet ist. Gehen wir noch weiter, so wird die Oberflächenspannung wieder kleiner. Bei jenem Potential von ein Volt war also die Kondensatorladung verschwunden und trat bei höherem Potential im entgegengesetzten Sinne auf, woraus die erneute Abnahme der Oberflächenspannung erfolgte.

Ich fürchte fast, der eine oder andere ist bereits ungeduldig geworden, und fragt, wohinaus das soll. Das entscheidende Wort habe ich bereits ausgesprochen, welches uns auf alle unsere Frage Antwort schafft: haben Sie es nicht gehört? Ich habe gesagt: bei ein Volt ist die Kondensatorladung Null, das heißt Quecksilber wie Schwefelsäure haben das gleiche Potential. Hier haben wir einmal, was so lange vergeblich gesucht worden ist: die Kenntnis eines einzelnen Potentialunterschiedes an der Grenzfläche zwischen einer Elektrode und einem Elektrolyt. Ist ein Volt dazu erforderlich, um das Quecksilber von dem Potential, das es für gewöhnlich unter Schwefelsäure annimmt, auf das Potential

Null im Verhältnis zu dieser zu bringen, so ist eben der gewöhnliche Potentialunterschied zwischen beiden ein Volt, und zwar, wie aus dem Gesagten hervorgeht, in solchem Sinne, daß das Quecksilber positiv gegen die Schwefelsäure ist.

Mit der Kenntnis dieses einen Wertes ist uns aber der leichte experimentelle Zugang zu allen übrigen Größen derselben Art erschlossen. Nehmen wir ein Beispiel. Eine Kette aus Zink und Quecksilber in Schwefelsäure hat eine Spannung von 1,5 Volt; das Zink ist negativ. Daraus folgt unmittelbar, daß der Potentialunterschied zwischen Zink und Schwefelsäure 0,5 Volt beträgt, und zwar in solchem Sinne, daß das Zink negativ ist. In einer solchen Kette befinden sich also zwei Drittel des Potentialunterschiedes zwischen dem Quecksilber und dem Elektrolyt, das letzte Drittel ist zwischen Zink und Elektrolyt vorhanden. Ich will an dieser Stelle nicht darauf eingehen, daß die Schwefelsäure in der Nähe der beiden Metalle etwas von jedem als Salz enthalten muß, um die angegebenen Werte zu zeigen; dieser Zustand stellt sich selbsttätig her, und wir brauchen uns heute mit diesem Punkt nicht zu beschäftigen.

Auf gleiche Weise kann man für jedes andere Metall sein absolutes Potential bestimmen, wie es sich z. B. ergibt, wenn es in eine Lösung seines eigenen Salzes von bestimmter Konzentration taucht. Dadurch erhalten wir für jede mögliche Zusammenstellung solcher Art die zugehörige Größe und Verteilung der elektromotorischen Kraft und können also sagen, daß hierdurch die Frage nach diesen Dingen prinzipiell beantwortet ist. Hierbei ist allerdings die Voraussetzung gemacht, daß zwischen den Metallen keine Potentialunterschiede bestehen.

Es ist sehr merkwürdig, daß der Mann, dem wir diesen Weg verdanken, ihn nicht selbst gegangen ist, sondern sich mit seiner Eröffnung begnügt hat. Helmholtz hat in der Tat keinerlei Andeutung darüber gemacht, daß man sein Ergebnis, nach welchem beim Maximum der Oberflächenspannung der Potentialunterschied zwischen Quecksilber und Elektrolyt

Null ist, zu den eben angegebenen Schlüssen benutzen kann. Auch scheint, nachdem ich vor nunmehr zehn Jahren zuerst eine solche Bestimmung der absoluten Potentiale der Metalle ausgeführt hatte, kaum ein Fachgenosse sich rückhaltlos von der Richtigkeit jenes Schlusses überzeugt zu haben, wenigstens sind mir nur wenige Äußerungen bekannt geworden, in denen die gewonnenen Werte als richtig angenommen sind.

Es ist nun nicht in Abrede zu stellen, daß allerdings noch eine Anzahl Fragen beantwortet werden müssen, bevor man das Ergebnis als gesichert ansehen kann. Vor allen Dingen die nach den von Volta behaupteten Potentialunterschieden an der Grenzfläche zweier Metalle. Für das Vorhandensein solcher Potentialunterschiede sprechen ausschließlich die Kondensatorversuche mit Luft als Dielektrikum. Nun dürfte es zurzeit kaum mehr einem Zweifel unterworfen sein, daß in den Gasen eine, wenn auch sehr geringe Leitung vorhanden ist, welche der elektrolytischen Leitung mindestens ähnlich, wenn nicht mit ihr identisch ist. Sowie aber ein solcher Verdacht vorliegt, trifft er auch die Ergebnisse der Kondensatorversuche. In der Tat verhält sich der Kondensator aus Zink und Kupfer in Luft genau so, wie er sich in einem sehr schwach elektrolytisch leitenden Mittel verhalten müßte. Am deutlichsten wird dies durch einen von William Thomson angestellten Versuch. Über zwei Halbringen aus Zink und Kupfer schwebt eine elektrisch geladene Elektrometernadel. Werden die Halbringe einerseits metallisch verbunden und wird die Nadel über den anderen Spalt gehängt, so dreht sie sich in solchem Sinne, als wäre das Zink positiv. Verbindet man aber die Halbringe durch einen Tropfen Wasser, so wird das System symmetrisch, und die Nadel macht keinen Ausschlag, ob sie positiv oder negativ geladen wird. Das heißt mit anderen Worten: die Zwischenschicht von Luft auf der einen Seite wirkt ebenso, wie das Wasser auf der anderen Seite.

Wir müssen uns also nach anderen Mitteln umsehen, die

Frage zu entscheiden, und es gibt allerdings solche. Leiten wir einen elektrischen Strom aus einem Gebiete niederen Potentials in eines höheren Potentials, so verbrauchen wir dazu eine Energiemenge, welche gleich dem Produkt aus der Elektrizitätsmenge und dem Potentialunterschiede ist. Führen wir den Versuch mit Zink und Kupfer aus, so müßten wir, wenn an ihrer Berührungsfläche tatsächlich etwa ein Volt Spannungsunterschied vorhanden ist, je nach dem Sinne des Stromes eine sehr bedeutende Abkühlung oder Erwärmung finden. Eine solche tritt aber nicht ein; es erfolgt allerdings eine Wirkung, diese ist aber außerordentlich klein; sie beträgt noch nicht ein Zehntausendstel des zu erwartenden Wertes. Somit kann zwischen beiden Metallen kein Potentialunterschied bestehen, der auch nur annähernd dem durch den Kondensatorversuch gefundenen entspricht.

Gegen diesen zuerst von Le Roux und insbesondere von Edlund ausgeführten, später von Maxwell aufgenommenen Beweis hat man einige Einwendungen geltend gemacht, die ich indessen in keiner Weise zutreffend finden kann. Auf die Erörterung der Einwände brauche ich mich nicht einzulassen, da auf einem anderen, von diesem ersten ganz unabhängigen Wege der gleiche Nachweis erbracht worden ist. Durch diese Arbeit, die vor kurzer Zeit auf meine Veranlassung in meinem Laboratorium ausgeführt worden ist, wurde nicht nur bewiesen, daß in der Tat zwischen den Metallen keine Potentialunterschiede von Belang bestehen können, sondern auch, daß die früher von mir angegebenen Potentialunterschiede zwischen verschiedenen Metallen und Elektrolyten, wie sie sich durch Messung von Ketten aus diesen Metallen und Elektrolyten unter Anwendung einer Elektrode von Quecksilber ergeben hatten, gleichfalls richtig sind. Der Gedankengang dieser von Herrn Viktor Rothmund ausgeführten Arbeit, den ich hier um so lieber auseinandersetze, als er trotz seiner Bedeutung für die Lösung des ein Jahrhundert alten Problems nicht die

entsprechende Beachtung gefunden zu haben scheint, ist der folgende.

Wie man den Potentialunterschied zwischen Quecksilber und einem Elektrolyt durch Messung der Oberflächenspannung und Bestimmung des Potentials, bei dem das Maximum derselben eintritt, ermittelt, habe ich eben auseinandergesetzt. Denken wir uns nun, wir hätten ein anderes flüssiges Metall und machten mit diesem die gleichen Versuche. Wir erfahren dadurch die Spannung zwischen diesem zweiten Metall und dem benutzten Elektrolyten. Dieser sei der gleiche wie beim Quecksilber, also z. B. verdünnte Schwefelsäure. Jetzt stellen wir eine Kette aus den beiden untersuchten Metallen in Quecksilber zusammen und bestimmen deren elektromotorische Kraft. Diese muß offenbar gleich der unter Berücksichtigung der Vorzeichen der Spannungen gebildeten Summe der beiden elektromotorischen Kräfte zwischen Metall und Elektrolyt plus einem etwaigen zwischen den beiden Metallen befindlichen Potentialunterschiede sein, und man kann auf diese Weise den letzteren Wert ermitteln.

Nun gibt es allerdings außer dem Oecksilber keine anderen Metalle, welche bei bequem zu handhabenden Temperaturen flüssig sind. Wohl aber ist bekannt, daß Quecksilber durch die Beimischung auch verhältnismäßig kleiner Mengen fremder Metalle deren Potential gegen Elektrolyte annimmt; so genügt bekanntlich weniger als ein Tausendstel Zink, um dem Quecksilber das Potential dieses Metalles zu erteilen. Herr Rothmund hat also seine Versuche mit den Amalgamen von Blei, Wismut, Zinn, Kupfer, Kadmium, Zink und Thallium ausgeführt und einerseits das Potential gemessen, bei dem das Maximum der Oberflächenspannung eintritt, anderseits die elektromotorische Kraft von Ketten, die aus diesen Amalgamen, den benutzten Elektrolyten und Quecksilber zusammengestellt waren, und in der angedeuteten Weise den für die Berührungsstelle der beiden Metalle übrigbleibenden Betrag berechnet.

Dieser erwies sich in allen Fällen als sehr klein, einige hundertstel Volt nicht übersteigend, und kann zum größten Teile auf Versuchsfehler zurückgeführt werden, denn bei aller theoretischen Bedeutung der Methode der Oberflächenspannung kann man ihr eine große Genauigkeit nicht erteilen, wie immer die Bestimmung des Ortes eines Maximums mit experimentellen Schwierigkeiten verbunden ist. In einem Falle, bei Thallium-amalgam, war der Unterschied etwas größer; in diesem Falle aber findet gerade eine besonders große Abhängigkeit der elektromotorischen Kraft vom Gehalt des Amalgams statt, daß auch die Erklärung dieser Abweichung keine Schwierigkeit bietet. Jedenfalls lassen die Versuche keinen Raum für die nach den Kondensatorbestimmungen bisher angenommenen großen Potentialunterschiede von der Ordnung eines Volt zwischen den verschiedenen Metallen, sondern wenn Spannungs-unterschiede vorhanden sind, so beschränken sie die auf die Hundertstel Volt.

Ein weiteres bemerkenswertes Ergebnis dieser Wert-bestimmung der einzelnen Potentialunterschiede zwischen den Metallen und den Elektrolyten besteht in dem Nachweis, daß dem Wasserstoff unter gewöhnlichen Verhältnissen sehr nahe das Potential Null zukommt. Damit hängt zusammen, daß die Metalle, welche wie Quecksilber positiv gegen den Elektrolyt sind, das Wasser nicht zersetzen, oder besser gesagt, aus verdünnten Säuren keinen Wasserstoff entwickeln können. Metalle, die wie Zink gegen den Elektrolyt negativ sind, haben diese Eigenschaft. Es ist dies einigermaßen ein Zufall, aber doch gleichzeitig ein bequemes Gedächtnishilfsmittel, um sich die Metalle der beiden Gruppen einzuprägen.

Gegen die Bündigkeit der Schlüsse aus den Versuchen Rothmunds sind in letzter Zeit einige Einwendungen gemacht worden. Ich habe nach sorgfältiger Erwägung der vorgebrachten Bemerkungen diese Einwände nicht als gegründet anerkennen können und muß meinen eben dargelegten Stand-

punkt in der Sache durchaus aufrecht erhalten. Wenn ich dazu bemerke, daß von einer Seite diese Versuche als mit Widersprüchen behaftet und daher zweifelhaft, von der anderen als überflüssig, weil selbstverständlich, bezeichnet worden sind, so werden Sie mir zugeben, daß ich annehmen darf, daß die Wahrheit in der Mitte liegt und sie weder überflüssig, noch zweifelhaft sind. Auf die eingehende Besprechung dieser Einwände glaube ich hier verzichten zu dürfen; dafür wird sich an anderer Stelle Raum finden.

Meine Herren! Der Weg, auf dem Sie mich während dieser Stunde zu begleiten so gut waren, hat uns durch ein ganzes Jahrhundert geführt, und wir haben gesehen, welch eine Fülle von geistiger Energie nötig war, um eine einzige Frage, allerdings eine grundlegende, aus der Elektrochemie zu beantworten. Diese Frage hat bisher einen rein theoretischen Charakter gehabt, und auch heute, wo sie als beantwortet anzusehen ist, wüßte ich Ihnen nicht zu sagen, welcher technische Vorgang dadurch neues Licht oder Förderung erfahren könnte. Aber ich bin ruhig darüber, nicht, daß Sie sich die Frage nicht stellen werden, denn ich hoffe, Sie werden sie nicht nur stellen, sondern auch bald beantworten, sondern daß Sie alle überzeugt sind, daß jedem theoretischen Fortschritt bei uns der praktische über kurz oder lang folgt, und daß deshalb die Zeit, die Sie diesen theoretischen Erörterungen gewidmet haben, von Ihnen nicht als verloren angesehen werden wird. Ich habe es schon oft gesagt, aber ich werde nicht müde, es zu wiederholen: alle unsere technische Überlegenheit beruht auf der wissenschaftlichen Überlegenheit unserer Techniker, und nirgendwo erfährt ein wissenschaftliches Ergebnis eine vollständigere und ausgiebigere Prüfung, als bei dem Versuche, es technisch anzuwenden. Diese Wechselwirkung aber ist ja der Leitgedanke unserer Gesellschaft.

III

ENERGETIK UND PHILOSOPHIE

I

DIE ENERGIE UND IHRE WANDLUNGEN

(Antrittsvorlesung, gehalten am 23. November 1887 in der Aula der Universität Leipzig.)

Hochansehnliche Versammlung!

Immer lauter und dringender hört man in neuerer Zeit die Klage über den Rückgang zwar nicht der Wissenschaft, wohl aber der Wissenschaftlichkeit erheben. Die Arbeit an den großen, allgemeinen Problemen verschwinde immer mehr und mehr, sie mache einer atomistischen Zersplitterung in lauter Einzelfragen Platz, und selbst die Universität sei nicht mehr im stande, ihren Dienern und Jüngern die Universalität zu vermitteln.

Mir ist die Berechtigung dieser Klage zweifelhaft geworden. Eine mit solcher Allgemeinheit und Regelmäßigkeit auftretende Erscheinung, welche nicht verhindert, daß das Gesamtwissen die größten und bedeutsamsten Fortschritte macht, kann schwerlich pathologischen Charakters sein. Ist sie das aber nicht, und können wir sie als einen notwendigen Entwicklungszustand des Organismus der Wissenschaft auffassen, so haben wir damit schon sichere Gewähr, daß durch eben diese Entwicklung auch die Schädigungen werden beseitigt werden können, welche zwar nicht die Wissenschaft als solche, wohl aber der Vertreter

des einzelnen Wissensgebietes durch den gegenwärtigen Zustand erleidet.

Diese Schädigungen sind oft und energisch hervorgehoben worden. Durch die Versenkung in Einzelfragen verliere der Forscher den allgemeinen Überblick und die richtige Schätzung der Bedeutung, welche seine Ergebnisse im Verhältnis zu denen anderer habe: die Folge sei Überschätzung der eigenen und Unterschätzung der fremden Resultate. Solange indessen diese unrichtige Schätzung nur zur Folge hat, daß der betreffende Forscher um so eifriger seinen Weg geht und seinen Stollen abbaut, hat die Wissenschaft von dieser Erscheinung nur den Gewinn, daß ihr Bestand um so schneller vermehrt wird; — dagegen aber, daß ein solcher Schätzungsfehler allgemein wird, dagegen sind wir in unserer kritischen Gelehrtenrepublik wohl ausreichend gesichert.

Aber auch der Entwicklungsgang, den die Wissenschaft naturgemäß nehmen muß, bringt das Heilmittel gegen diese Schäden mit Notwendigkeit heran. Man kann sich die Ausbildung des menschlichen Wissens ganz anschaulich unter dem Bilde vergegenwärtigen, welches wir uns von der Entstehung eines Kontinents aus dem Weltmeer durch allmähliche Erhebung des Meeresgrundes, oder allmähliches Zurücktreten des Wassers machen. In den ersten Stadien ragen nur hie und da einzelne höchste Gipfel als Inseln hervor, die miteinander keinen Zusammenhang haben: hier die Geisteswissenschaften (die ich lieber Willenswissenschaften nennen möchte), dort die Naturwissenschaften, zwischen beiden das tiefe Meer der Unwissenheit, auf dem sich jugendmutig die Segel philosophischer Systeme tummeln, welche meist ins Unbegrenzte entfliehen, oder am harten Fels der gesicherten Erkenntnis scheitern, während nur wenige Neigung und Fähigkeit haben, daselbst zuverlässigen Ankergrund zu suchen und zu finden.

Allmählich gesellen sich zu den wenigen Hauptgipfeln die Nebeninseln, anfangs getrennt, später sich zum Teil ver-

einigend in dem Maße, als die Wasser sich verlaufen, während immer neue erscheinen. Wenn noch so zahllose Inseln und Inselchen nebeneinander auftauchen, wir wissen doch, daß alle unterhalb zusammenhängen und alle nur Punkte eines und desselben Gebietes sind, wenn auch ihr Zusammenhang zurzeit noch nicht sichtbar ist. Und gerade, wenn recht viele einzelne erscheinen, sind wir sicher, daß auch der unterste Grund, welcher sie alle zusammenhält, seinerseits dem Erscheinen näher und näher kommt. (40)

Ob und wann es je einem Sterblichen vergönnt sein wird, ihn zu schauen, ist eine Frage, die fast müßig erscheint. Denn das Wesentliche ist ja, daß wir überzeugt sind von der Existenz desselben, und davon, daß wir uns ihm nähern. Dadurch gewinnt jeder von uns den Mut, trotz der Unermeßlichkeit des Ganzen seinen kleinen Raum zu pflegen, denn er vertraut, daß das, was er hier geleistet, doch ein Teil des Ganzen ist, und dem Ganzen zugute kommt.

Ähnlich verhält es sich mit einem zweiten Vorwurf, der insbesondere der gegenwärtigen Richtung und Beschaffenheit der naturwissenschaftlichen Arbeit gemacht wird. Es ist der, daß unter der Masse empirisch-induktiver Forschung das deduktive Element der Wissenschaft nicht zu seinem Rechte komme, daß mit anderen Worten über der Zusammenhäufung erfahrungsmäßiger Tatsachen ihre Zusammenfassung unter einheitliche Allgemeinbegriffe versäumt werde. Auch dieser Vorwurf wird durch die Geschichte der Wissenschaft nicht unterstützt. Es ist eine regelmäßig wiederkehrende Erscheinung, daß die fruchtbarsten Allgemeinbegriffe, nachdem sie an die Öffentlichkeit getreten sind, zunächst unwirksam bleiben und sozusagen kürzere oder längere Zeit im Puppenzustande verharren, bis die äußeren Verhältnisse, nämlich das Tatsachenmaterial, in geeigneter Beschaffenheit und Fülle vorhanden sind. Eine der nützlichsten Theorien der Physik, die Wellentheorie des Lichts, war 200 Jahre früher aufgestellt worden, bevor die

Wissenschaft sie nötig brauchte, und sie hat keinen Einfluß auf dieselbe geübt, ehe durch exakte Untersuchung der Erscheinungen der Polarisation und Interferenz ihre Hilfe nötig wurde. Die fundamentale Theorie der Chemie, die Atomtheorie, ist beinahe so alt, als die Wissenschaft überhaupt, denn ihre Väter sind, soweit uns bekannt, die Philosophen des griechischen Altertums, und doch hat sie keinen bemerkenswerten Einfluß geübt, bevor Jeremias Benjamin Richters Gesetz der unveränderlichen Verbindungsgewichte und Daltons Gesetz der multiplen Proportionen ihr einen tatsächlichen Inhalt gab. Und eine der wirksamsten Verallgemeinerungen der modernen Chemie, der Satz von Avogadro, daß in gleichen Räumen verschiedener Gase gleichviel Molekeln seien, und daß demgemäß die Molekeln der meisten elementaren Gase nicht einfach sein können, hat dreißig Jahre lang den Chemikern vorgelegen, ohne daß sich auch nur einer um ihn gekümmert hätte; erst als die organische Chemie eine Fülle von Tatsachen brachte, die im Lichte dieses Satzes Zusammenhang und Konsequenz erhielten, wurde er zu seiner gegenwärtigen Bedeutung erhoben.

Es geht aus diesen Beispielen hervor, daß im allgemeinen das spekulative Element in den Naturwissenschaften noch immer überwiegt; die meisten theoretischen und hypothetischen Ideen sind viel früher da, als man sie verwerten kann, und auch von dieser Seite her erscheint die Zukunft der Wissenschaft nicht ernstlich bedroht.

Dagegen bringt die vielbeklagte Arbeitsteilung in der Wissenschaft auch einen positiven Gewinn gegenüber den durch sie verursachten Schäden mit sich. Indem der Einzelne mehr und mehr sein persönliches Gebiet einhegt und pflegt, wird der Neuhinzukommende darauf angewiesen, für seine eigene Betätigung neue, noch nicht abgebaute Gebiete aufzusuchen. Dadurch erweitern sich zunächst die Kreise der einzelnen Wissenschaften. Gleichzeitig beginnen aber auch ihre Grenzen sich zu nähern, und wir sehen sie schon hie und da sich

überschneiden. Auf diese Weise entstehen die sogenannten Grenzgebiete, welche zwei verwandten Wissenschaften gleichzeitig angehören und dadurch den Zusammenhang, ja die Einheitlichkeit derselben weit eindringlicher und erfolgreicher betätigen, als es durch die gleichzeitige Anwesenheit der heterogen gebliebenen Elemente in eines Menschen Kopf geschehen könnte.

Ein solches Grenzgebiet ist nun das der physikalischen Chemie, als deren Vertreter ich heute zu Ihnen reden darf. Ihre Aufgaben sind die der Chemie, die Hilfsmittel zu ihrer Lösung entnimmt sie der Physik. Es kann dabei nicht fehlen, daß auch die Physik ihren Gewinn macht, denn auch sie besitzt ein entsprechendes Grenzgebiet, das gewöhnlich die Molekularphysik genannt wird, in welchem der Fortschritt, ja das Verständnis überhaupt, ohne ausreichende Kenntnis in der Chemie unmöglich ist. Beide Gebiete aber fallen so vielfach zusammen, daß ihre bisher durchgeführte Trennung nur mehr einen rein äußerlichen Charakter hat und in der Sache selbst sich kein Grund für dieselbe finden läßt.

Die sogenannten Grenzgebiete umfassen nun nicht etwa, wie die Bezeichnung vermuten ließe, Fragen und Aufgaben, die einigermaßen abseits vom Mittelpunkte der fraglichen Wissenschaften liegen, sondern in ihnen werden meistens gerade die allgemeineren und entsprechend wichtigeren Probleme bearbeitet und entschieden. So ist die Aufgabe der Molekularphysik, eines Grenzgebietes, weit größer und allgemeiner, als beispielsweise die der Optik, eines Teiles der sogenannten reinen Physik: es handelt sich nicht um die Gesetze und Erscheinungsformen eines einzelnen Agens, sondern um die innerste Natur und Beschaffenheit des unvernichtbaren Trägers aller physikalischen Erscheinungen, der Materie. (41) Und die Aussicht, auf solchen Grenzgebieten derartige Probleme zu lösen, ist um so größer, als die aus beiden Wissenschaften zu entnehmenden Hilfsmittel mannigfaltiger sind.

So finden wir denn in der physikalischen Chemie dieselben Aufgaben vor, welche die Chemie überhaupt hat, und es erscheint daher berechtigt, für dieselbe, wie ich früher schon vorgeschlagen habe, den Namen der allgemeinen Chemie im Gegensatz zur speziellen Chemie, der Beschreibung der einzelnen Stoffe, zuzubilligen.

Ich will mir heute nicht die Aufgabe stellen, Ihnen ein Bild von den Zwecken und Zielen der allgemeinen Chemie aufzurollen; ich habe dieselbe bereits an einem anderen Orte (42) zu lösen versucht. Es soll nur, um zu zeigen, mit wieviel reicheren Hilfsmitteln das „Grenzgebiet" ausgestattet ist, ein uraltes, überaus wichtiges Problem der allgemeinen Chemie erörtert werden, dessen Lösung nach jahrhundertelangen Anstrengungen erst in unserer Zeit gelungen ist: es ist die Frage nach der Natur und den Gesetzen der chemischen Verwandtschaft.

Daß das Eisen in feuchter Luft in gelbroten, das Kupfer in grünen Rost übergeht, daß der süße Traubensaft sich in feurigen Wein und weiterhin in sauren Essig verwandelt, daß Öl und Holz beim Brennen verschwinden — alle diese Erscheinungen mußten sich schon in sehr frühen Stadien der Kulturentwicklung dem beobachtenden Menschengeiste als ebensoviele Rätsel darstellen. Daß derartige Vorgänge in eine Klasse gehören, insofern als bei allen aus bestimmten Stoffen mit bestimmten Eigenschaften andere Stoffe mit anderen Eigenschaften entstehen, scheint zuerst Hippokrates klar eingesehen zu haben; er belegte die vorausgesetzte Ursache, welche die Stoffe befähigt, aufeinander einzuwirken, mit dem eben gebrauchten Namen der chemischen Verwandtschaft. Eine derartige Zusammenfassung ist immer eine wissenschaftliche Tat von nicht geringer Bedeutung, und als solche können wir diese gelten lassen, wenn sich auch die Vorstellungen, welche Hippokrates sich von der Ursache der von ihm als gleichartig erkannten Erscheinungen gemacht hat, im Laufe der Zeit als unhaltbar herausstellten.

Indessen fehlte viel daran, daß der geschaffene Allgemeinbegriff auch in vollem Umfange seine Anwendung gefunden hätte. Nur die einfachsten, gegenwärtig kaum als chemische angesehenen Vorgänge, wie die Auflösung eines Salzes in Wasser und ähnliches, umfaßte er zunächst, und die Geschichte der Lehre von den chemischen Vorgängen ist die Geschichte der Erweiterung des Gebietes, innerhalb dessen dieser Allgemeinbegriff zur Geltung kam. Bei etwas tiefergreifenden chemischen Änderungen, wie z. B. dem Wachsen der Pflanzen und dergleichen, nahm man ohne weiteres das Verschwinden und Entstehen von Stoffen an und sah keinen chemischen Vorgang der oben erwähnten Art darin. Dies hängt damit zusammen, daß in jener griechich-römischen Zeit, sowie in der des Mittelalters, welches ja seine wissenschaftlichen Anschauungen aus dem erstgenannten Zeitalter schöpfte, mit dem Namen „Element" ein ganz anderer Begriff verbunden ist, als gegenwärtig. Die berühmten vier Elemente des Aristoteles sind keineswegs Elemente im gegenwärtigen Sinne, d. h. die letzten ponderablen Bestandteile aller Stoffe, sondern sie sind Qualitäten, welche den Substanzen anhaften, ihnen beigebracht und abgenommen werden können; die Materie ihrerseits ist der indifferente Träger dieser Qualitäten. Als in der Folge die von Aristoteles gewählten vier Typen sich als gar zu unzugänglich zur Darstellung chemischer Erscheinungen erwiesen, wurden dieselben unter Beibehaltung derselben Grundanschauung gewechselt: statt Feuer, Erde, Luft und Wasser erscheinen Schwefel, Quecksilber, Salz als Elemente der arabischen Chemiker. Aber wieder sind diese „Elemente" nicht die gewöhnlichen Stoffe Schwefel, Quecksilber und Salz, sondern sie sind die Eigenschaften der Brennbarkeit, der metallischen Beschaffenheit und Flüchtigkeit und der Auflöslichkeit. Diese Typen wurden späterhin nach Bedürfnis erweitert und vermehrt und nahmen gleichzeitig eine immer substantiellere Beschaffenheit an, bis um das Ende des siebzehnten Jahrhunderts Robert Boyle end-

lich erklärte, daß als Elemente alle Stoffe anzusehen seien, welche man nicht weiter in einfachere Stoffe zerlegen könne. Es wurden, um das Ergebnis mit einem Worte zu bezeichnen, die Elemente als Substanzen erkannt, als Wesen, die unter allen Umständen nur ihre Erscheinungsform ändern, nicht aber hervorgebracht und vernichtet werden können. Insbesondere Lavoisier, dem Forscher, dessen richtige Auffassung der Verbrennungserscheinungen eine der größten Umwälzungen in der Chemie hervorgebracht hat, verdanken wir eine scharfe und präzise Durchführung des Prinzipes der Substanzialität der Elemente; er formulierte zuerst ausdrücklich den Satz, daß durch keinerlei chemische Vorgänge die Gesamtmaße der beteiligten Stoffe eine Änderung erfahre. Gegenwärtig ist diese Erkenntnis so in Fleisch und Blut der Chemiker übergegangen, daß eine gegenteilige Ansicht nicht nur als empirisch unrichtig, sondern sogar als logisch undenkbar hingestellt wird. Indessen ist es doch wohl gut, hervorzuheben, daß das Gesetz von der Unerschaffbarkeit und Unvernichtbarkeit der Materie keineswegs ein logisches Postulat ist oder auch nur ein solches sein kann, sondern nicht mehr enthält, als einen sehr gut bewährten empirischen Satz. (43)

Während so die Elemente sich im Laufe der Zeit mehr und mehr substanziierten, ging es einer Anzahl von Wesen, welche lange Zeit eine gleiche Rolle wie jene gespielt hatten, gerade umgekehrt. Die Wärme, das Licht, wohl auch die Elektrizität wurden von Lavoisier am Ende des vorigen Jahrhunderts als unwägbare Elemente zu den wägbaren Elementarstoffen gesellt, und noch in den vierziger Jahren unseres Jahrhunderts bringt das Hauptwerk der damaligen chemischen Literatur, das Handbuch von Gmelin, vor der Chemie der wägbaren Stoffe eine Chemie der unwägbaren Stoffe. Ein seiner Zeit so ungeheuer überlegener Geist, wie Claude Louis Berthollet, findet keinen Anstoß daran, die Wärme als einen Stoff zu behandeln.

Um die Mitte unseres Jahrhunderts wurde diese Auffassung bekämpft, und, wie man wohl sagen darf, vernichtet. Insbesondere wirkte die von Rumford und Davy vorbereitete, von Clausius mit so glänzendem Erfolg durchgeführte Auffassung der Wärme als einer Bewegung kleinster Teilchen so kräftig der Auffassung der Imponderabilien als Substanzen entgegen, daß es als ein Zeichen eines fast unverständlichen Mangels an Einsicht angesehen wurde, daß seinerzeit selbst solche Männer wie Berthollet sich derartigen Anschauungen hingeben mochten.

Es sei mir gestattet, gerade in dieser Tatsache einen Beweis dafür zu sehen, daß in dieser scheinbar so endgültig abgetanen Anschauung doch ein richtiger Kern steckt. Es ist nur wieder einmal, wie das bei jedem großen Umschwung in der Wissenschaft fast unvermeidlich geschieht, das Kind mit dem Bade ausgeschüttet worden; man hatte mit dem Falschen, was man beseitigt hatte, auch Richtiges und Wichtiges verworfen.

Wie allgemein bekannt ist, hat sich am Anfange der vierziger Jahre unseres Jahrhunderts einer der bedeutsamsten Fortschritte vollzogen, den die Naturwissenschaft in den letzten Jahrhunderten gemacht hat, ein Fortschritt, der jenem früher besprochenen in bezug auf die ponderable Substanz nicht nur ebenbürtig zur Seite steht, sondern ihm an Tragweite bedeutend überlegen ist. Ich meine das an die Namen J. R. Mayer, Joule und Helmholtz geknüpfte Gesetz, das in weitesten Kreisen als das von der „Erhaltung der Kraft“ bekannt ist. Die Physiker nennen das fragliche Gesetz nicht so, für sie ist es das von der Erhaltung der Energie. Das Gesetz besagt, daß bei allen Umwandlungen in der Natur eine gewisse Größe, die eben Energie genannt wird, unveränderlich bleibt. Diese Energie kann in verschiedenen Formen auftreten, sie kann als lebendige Kraft bewegter Massen, als mechanische Arbeit wirkender Kräfte, als Wärme, Licht, elektrische Spannung, oder

chemische Verwandtschaft erscheinen, immer aber läßt sich nachweisen, daß beim Verschwinden von Energie in irgend einer dieser Formen eine gleichwertige Menge Energie in einer anderen Form auftritt. So verschwindet in der Dampfmaschine, welche mechanische Arbeit leistet, ein Teil der zugeführten Wärme, indem sie eben in Arbeit übergeht; verbraucht man diese Arbeit aber z. B. zur Überwindung von Reibungswiderständen, so wird genau dieselbe Wärmemenge wiedererhalten. Dreht ein Mann das Schwungrad einer Dynamomaschine, so verbraucht er die chemische Energie seiner Muskelsubstanz, um die mechanische Arbeit zu leisten; diese verwandelt sich in der Maschine in elektrische Energie, und aus letzterer kann man je nach Bedürfnis Wärme oder Licht, oder wieder chemische oder mechanische Arbeit in entsprechender Menge gewinnen.

Das ist aber ganz dasselbe Verhalten, welches wir an der ponderablen Materie beobachten. Aus einer gegebenen Menge Eisen kann ich schwarzen Hammerschlag oder rotes Eisenoxyd, gelben Ocker oder blaues Preußischblau erzeugen; jeder dieser Stoffe läßt sich in jeden anderen überführen und aus jedem erhalte ich genau so viel Eisen, als ich ursprünglich genommen hatte. Man kann somit im Einklange mit jenen gegenwärtig als abgetan betrachteten älteren Anschauungen die Energie als völliges Analogon der wägbaren Materie ansehen und ist berechtigt, sie ebenso eine Substanz zu nennen, wie man jene von jeher so nennt.

Es mag einigen Widerspruch erregen, wenn ich auch für dieses Wesen, oder diesen Begriff, die Bezeichnung Substanz in Anwendung nehme. Wir sind so gewohnt, ausschließlich die mit Maße und Gewicht begabten Objekte der sogenannten Außenwelt als reale Existenzen, und alles andere als der Wirklichkeit entbehrende Produkte des menschlichen Geistes anzusehen, daß die Realität jenes zweiten Wesens, der Energie, in der Tat noch eines besonderen Nachweises bedarf. Auch ist

infolge eines eigentümlichen, historisch indessen vollkommen verständlichen Verhältnisses ein anderer verwandter Begriff, der der Kraft, trotz seines sekundären Charakters so in den Vordergrund getreten, daß man, wenn schon außerhalb der Materie einem Ding reale Existenz zugestanden werden soll, sie eben der „Kraft" zugesteht.

Fragt man indessen nach einem Kennzeichen, welches den realen Objekten und nur solchen eigen sein müsse, so läßt sich kein anderes finden, als daß alle menschliche und natürliche Macht außer stande ist, dieselben willkürlich zu erzeugen oder zu vernichten. Ich will an dieser Stelle darauf verzichten, zu erörtern, ob diese Eigenschaft als ein Kriterium absoluter objektiver Realität betrachtet werden kann, und ob es überhaupt ein solches gibt; hier kann es genügen, wenn festgestellt wird, daß realere Objekte nicht denkbar sind, als solche, deren Existenz vom menschlichen Willen völlig unabhängig ist. (44)

Solcher Objekte sind aber bisher nur zwei Arten bekannt: die ponderable Materie und die Energie. Nur ihnen, aber ihnen beiden, kommt der Name Substanz, dessen, was unter allen Umständen bestehen bleibt, zu. Es läßt sich mit Sicherheit erwarten, daß nach einem halben Jahrhundert die Realität und Substanzialität der Energie dem gebildeten Menschen ebenso lebendig zum Bewußtsein gelangt sein wird, wie gegenwärtig die Realitat der wägbaren Materie; Sache der Wissenschaft aber ist es, schon jetzt die entsprechenden Konsequenzen zu ziehen, denn sie hat dem Allgemeinbewußtsein vorauszugehen und es zu bestimmen, nicht dem vorhandenen nachzugehen.

Vom Willen des Menschen sind die beiden Arten der Substanz nur unabhängig, was ihre Menge anlangt; ihre Erscheinungsform und ihre Eigenschaften lassen dagegen die mannigfaltigste Veränderung zu. Dabei zeigen beide Arten merkwürdige Unterschiede.

An der ponderablen Materie sind bisher etwa 70 verschiedene „Elemente" aufgefunden worden, die sich in keiner Weise in-

einander überführen lassen. Bei allen Umwandlungen eines gegebenen zusammengesetzten Systems von Stoffen bleibt nicht nur die Gesamtmenge der Materie unveränderlich, sondern auch die Mengen der einzelnen Elemente lassen sich auf keine Weise vermehren oder vermindern. Ich will einschalten, daß ein positiver Beweis für die Fortexistenz der Elemente in ihren chemischen Verbindungen nicht vorhanden ist; alles was man nachweisen kann, ist, daß dieselbe Menge eines Elements, welche man mit beliebigen anderen Stoffen in Wechselwirkung und Verbindung gebracht hat, sich daraus unter allen Umständen wieder erhalten läßt, und nicht mehr, noch weniger. Es kommt also die Eigenschaft der Unerschaffbarkeit und Unvernichtbarkeit, oder, kurz gesagt, der Persistenz, nicht nur der Materie als solcher zu, sondern auch jeder der siebzig und mehr Arten elementarer Stoffe, welche man bisher aufgefunden hat. Dabei macht sich indessen ein scharfer Gegensatz im Bewußtsein der gegenwärtigen Naturforscher geltend: während die Persistenz der Materie als solcher fast mit der Gewalt eines logischen Postulats die Gemüter beherrscht, ist es ein Lieblingsgedanke unserer Zeit, daß die sogenannten chemischen Elemente keineswegs einfache Stoffe seien, sondern aus einer Urmaterie oder einer geringen Anzahl solcher in verschiedenen Verhältnissen zusammengesetzt seien. Ein positiver Anhalt für diese Annahme ist indessen bisher nicht gefunden worden und soviel läßt sich mit Sicherheit sagen, daß die Elemente, falls sie zusammengesetzt sein sollten, jedenfalls Verbindungen gleicher Ordnung sind, so daß die Zerlegung eines von ihnen den Beweis für die Zerlegbarkeit aller geben würde. Insbesondere ist wegen der gesetzmäßigen Beziehungen zwischen den Eigenschaften der verschiedenen Elemente völlig ausgeschlossen, daß sie etwa aus Atomen einer Urmaterie (als welche vielfach der Wasserstoff angesehen wurde) in verschiedener Anzahl beständen. (45)

In auffälligem Gegensatz zu dieser sehr beschränkten Umwandelbarkeit der Materie in ihren verschiedenen Erscheinungs-

formen steht die allseitige Umwandelbarkeit der anderen Substanz, der Energie. Man kennt bisher folgende Hauptarten derselben: die mechanische, thermische, elektrische und chemische Energie, und weiß, daß sich jede von ihnen in jede andere quantitativ umwandeln läßt. Die Erkenntnis dieser Beziehung bildet, wie erwähnt, den größten und wichtigsten Fortschritt, welchen die messenden Naturwissenschaften in dem letzten halben Jahrhundert gemacht haben, und mit dem Ausbau der Konsequenzen aus derselben ist fast die ganze Physik unserer Zeit beschäftigt.

Indessen erkannte man bald nach der Entdeckung der Äquivalenzbeziehung zwischen den verschiedenen Formen der Energie, daß die Ausführung der Umwandlung selbst je nach den in Betracht kommenden Formen sich mehr oder weniger unmittelbar vollziehen läßt.

Zwei von ihnen, die mechanische und die elektrische Energie, lassen sich, prinzipiell gesprochen, vollkommen ineinander verwandeln, und zwar ebensogut vorwärts wie zurück. Sie sind daher sozusagen von einem Geschlecht, und wir bezeichnen dies Geschlecht als das erste. Die beiden anderen Formen, chemische und Wärmeenergie, zeigen untereinander wieder dieselbe Beziehung völliger Umwandelbarkeit, wenigstens wenn gewisse Bedingungen erfüllt sind, und gehören daher wieder zu einem Geschlecht, das wir das zweite nennen wollen. Beide Geschlechter sind nun insofern verschieden, als zwar die Umwandlung von mechanischer oder elektrischer Energie in Wärme sich sehr leicht ausführen läßt, der umgekehrte Vorgang aber niemals vollständig möglich ist. Dabei wird, wie ich besonders hervorhebe, das Aquivalenzgesetz nicht verletzt; für den Teil der Wärme, welcher in mechanische oder elektrische Energie übergegangen ist, erscheint ein genau proportionaler Anteil dieser letzteren. Aber der Übergang ist immer nur ein teilweiser; eine gegebene Wärmemenge ist für sich nur zu einem bestimmten, gesetzmäßigen Anteil verwandelbar; will man sie vollständig in z. B. mechanische Energie überführen, so muß

man dazu noch einen weiteren Anteil Wärme zu Hilfe nehmen, die dabei keine Änderung ihrer Menge, sondern nur eine solche ihrer Temperatur erleidet. Welchem Geschlecht die chemische Energie zuzuzählen sei, ist lange zweifelhaft geblieben, wie denn überhaupt die Lehre von der Rangordnung der Energieformen noch wenig Beachtung gefunden hat. Die Umwandlungsfähigkeit der chemischen Energie ist sehr beschränkt; mechanische Energie läßt sich gegenwärtig überhaupt kaum auf irgend eine praktikable Weise unmittelbar in chemische verwandeln und elektrische Energie auch nur unter gewissen Umständen. Dagegen kann man chemische Energie völlig in thermische verwandeln, und dem umgekehrten Vorgang, völlige Verwandlung thermischer Energie in chemische, steht seit unserer Kenntnis der Dissoziationserscheinungen wenigstens prinzipiell kein Hindernis entgegen. Der letzte Umstand ist entscheidend für die Erkenntnis, daß die chemische Energie von dem Geschlecht der Wärme ist, woraus denn folgt, daß sie nicht oder nicht vollständig in mechanische oder elektrische Energie verwandelt werden kann.

Die beiden Geschlechter der Energie sind also nicht neben- sondern übereinander geordnet, und zwar ist das erste das höhere; denn für die wechselseitigen Umwandlungen gilt das Wort: beim ersten sind wir frei, beim zweiten sind wir Knechte. Woran dieser eigentümliche Gegensatz liegt, läßt sich heute noch kaum sicher sagen, wenn man sich auch vermutungsweise eine entsprechende Vorstellung machen kann. (46)

Ich habe vorhin erwähnt, daß die vollständige Umwandlung von chemischer Energie in Wärme und umgekehrt im allgemeinen ausführbar ist, doch müßten bestimmte Bedingungen erfüllt sein. Von diesen Bedingungen dem Laien eine klare Vorstellung zu geben, ist sehr schwierig; vielleicht hilft ein Bild dazu. Chemische und thermische Energie verhalten sich zur mechanischen und elektrischen, wie Wertpapiere zu Metallgeld. Die letzteren sind keinen Kursschwankungen unterworfen, sie behalten unter allen Umständen ihren Kauf- und Tausch-

wert bei. Die ersteren dagegen lassen sich zwar gegen Metall zum Nominalwert jederzeit beschaffen, sollen sie dagegen realisiert werden, so kommt ihr Kurs in Betracht und man erhält nicht ihren Nominalwert wieder. Der Kurs der Wärmeenergie aber heißt die Temperatur. Je höher diese ist, um so besser läßt sich die Wärme realisieren, um so größer ist der Anteil derselben, welcher in mechanische oder elektrische Energie verwandelt werden kann. Letztere verhält sich, mathematisch gesprochen, wie Wärme von unendlich hoher Temperatur. Ebenso hat die chemische Energie einen ähnlichen Kurswert; obwohl bei der Verbindung z. B. der Schwefelsäure mit Natron mehr Energie in Form von Wärme frei wird, als wenn Salzsäure auf Natron wirkt, so ist doch der Kurs letzterer Energie so viel höher, als der der ersteren, daß die Salzsäure trotz des geringeren Nominalwertes eine größere Menge Natron erhält, als die Schwefelsäure mit ihrem größeren Nominalwerte.

Wir haben nunmehr die Stufen, welche die Wissenschaft mühselig in Jahrhunderten erklommen hat, im Fluge durchmessen und sind eben auf der letzten Höhe angelangt, auf welche ich Sie zu führen im stande bin. Ja, ich darf Ihnen nicht verhehlen, daß dieser letzte Aussichtspunkt noch keineswegs ein allgemein zugänglicher oder viel besuchter genannt werden darf; ich fürchte fast, daß einzelne Fachgenossen den letzten Teil unseres Weges unsicher, selbst ungangbar finden werden. Doch läßt sich wohl prüfen, ob wir wirklich sicheren Boden unter den Füßen haben, und ob der erreichte Punkt wirklich höher liegt, als das breite Gebiet der Wissenschaft. Wir wollen von dem erreichten Punkt aus einen Rückblick werfen auf das Problem der chemischen Verwandtschaft und die Versuche, dasselbe zu lösen.

Ich habe des ältesten Versuches dazu bereits Erwähnung getan, es ist die hippokratische Annahme, daß in der Chemie Ähnliches zu Ähnlichem, Verwandtes zu Verwandtem gehe. Diese Annahme hat eine ernstliche Prüfung nicht vertragen

und ist längst aus der Wissenschaft verschwunden. Zählebiger ist eine andere Annahme gewesen, die ebenfalls in das griechische Altertum zurückreicht. Empedokles stattete die letzten Teilchen der Materie, die Atome, mit individuellen Eigenschaften und mit Willensimpulsen aus: je nachdem die Atome zueinander Liebe oder Haß empfinden, nähern und vereinigen sie sich, oder fliehen auseinander. Diese Theorie besteht bis auf den heutigen Tag bei allen Chemikern. Sie hat freilich ihren anthropomorphen Charakter scheinbar abgestreift; man redet nicht mehr von Liebe und Haß, sondern von Anziehungs- und Abstoßungskräften, welche die Atome aufeinander ausüben, im Grunde ists aber doch dieselbe alte Anschauung. Sie ist in wissenschaftlicher Weise zuerst in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts von dem schwedischen Chemiker Torbern Bergmann formuliert worden. Auch Goethe hat sie sich bei seinen chemischen Studien in dieser Form zu eigen gemacht; was in seiner Meisternovelle der Hauptmann den Damen des Hauses von der Art und Wirkungsweise der chemischen „Kräfte", der Wahlverwandtschaften, auseinandersetzt, sind die zu jener Zeit in der Wissenschaft herrschend gewesenen Vorstellungen, deren anthropomorpher Charakter in der vorbildlichen Anwendung, die der Dichter von ihnen macht, besonders deutlich zur Anschauung gelangt.

Der anthropomorphe Charakter liegt aber wesentlich in der Annahme von spezifischen, den Atomen innewohnenden und von ihnen ausgehenden Kräften. Daß solche Kräfte existieren, ist bei Bergmann und seinen Nachfolgern nicht etwa eine Hypothese, die ausdrücklich als solche formuliert wird, sondern eine stillschweigend gemachte, sogenannte „selbstverständliche" Annahme. Solche selbstverständliche Annahmen sind es, welche die Hypothesen, dieses wertvollste Hilfsmittel der Lehre und Forschung, in den zweifelhaften Ruf gebracht haben, in welchem sie häufig stehen; ihre Aufdeckung und Beseitigung hat von jeher zu den nützlichsten wissenschaftlichen Taten gehört. (47)

So dachte sich Bergmann die Wechselwirkung der Stoffe durch die Kräfte bestimmt, welche sie aufeinander ausüben. Waren zwei Stoffe vorhanden, welche beide Neigung hatten mit einem dritten zusammenzutreten, so betätigten sie sich, um ein triviales Bild zu brauchen, wie zwei Hunde an einem Knochen: der „stärkere" bekam ihn. So wurde eine Säure stärker als die andere genannt, wenn sie diese aus ihrer Verbindung mit einer Base zu verdrängen vermochte.

Gegen diese rohe Vorstellung von der Wirkungsweise der chemischen Kräfte erhob sich um die Wende des vorigen Jahrhunderts Claude Louis Berthollet, einer der genialsten Chemiker, die je gelebt haben. Mit ausgezeichneten Kenntnissen in der Physik und Mechanik ausgestattet, machte er sich zwar nicht von der Annahme chemischer „Kräfte" frei, wohl aber trug er den wissenschaftlich entwickelten Kraftbegriff der Mechanik in die Chemie hinein und machte ihn dort in seiner Abhängigkeit von den Massen und den Entfernungen geltend. Dadurch war er im stande, eine Reihe von Erscheinungen aufzufassen, ja zum Teil vorauszusagen, welche seinen Zeitgenossen verschlossen geblieben waren. Statt des brutalen Rechts des Stärkeren in seiner unbedingtesten Form, wie es Bergmann statuiert hatte, setzte er ein mannigfaltiges Spiel hin und her wirkender Kräfte, deren Ergebnis immer das war, daß jeder zu seinem Rechte kam. Der stärkere Stoff erhält mehr, der schwächere weniger, aber keiner erhält alles, und keiner geht leer aus. Nur in dem Falle, daß einer der möglichen Stoffe vermöge seiner Eigenschaften sich vollständig vom Kampfplatze entfernt, indem er entweder in unlöslicher Gestalt niederfällt oder als flüchtiges Gas entweicht, kann die von Bergmann als Normalfall angesehene vollständige Zersetzung eintreten.

So weit waren die Dinge in den ersten Jahren unseres Jahrhunderts gediehen. Da erstand in den von Richter und Dalton entdeckten, von Berzelius mit unübertroffener Gewissenhaftigkeit und Ausdauer geprüften und bestätigten quantitativen Gesetzen

der chemischen Verbindungsverhältnisse ein dermaßen ergiebiges Forschungsgebiet, daß die gesammte Forscherkraft in der Chemie sich diesem zuwandte. Und als hier das Wichtigste geschehen war, erschloß Liebig die Schätze der organischen Chemie, mit deren Hebung die Forschung noch unserer Tage beinahe ausschließlich beschäftigt ist. Das Feld der Verwandtschaftslehre lag derweilen brach; nur selten verirrte sich ein Forscher auf dasselbe, nicht zu ernsthafter Bestellung, sondern um eine am Wege stehende Blume zu brechen, wobei es nicht fehlen konnte, daß mancherlei Unkraut mit heimgebracht wurde.

Auf diese Weise sind mehr als sechs Dezennien vergangen, ohne daß unsere Kenntnis von der Natur und den Gesetzen der chemischen Verwandtschaft einen erheblichen Fortschritt gemacht hätte. Ein solcher geschah erst 1867 durch zwei norwegische Forscher, Guldberg und Waage, welche die Ideen Berthollets in präzise mathematische Form brachten und die erhaltenen Gleichungen an einzelnen Beobachtungen prüften und bestätigt fanden. Während so von den nordischen Forschern die Ideen Berthollets, des Franzosen, die verdiente Würdigung und Pflege erfuhren, wurde die gerade hundert Jahre alte Verwandtschaftslehre des Schweden Bergmann durch den Franzosen Berthelot wieder aufgenommen. Wie in der Sage die längst gefallenen Krieger nächtlicherweile wieder zum Leben erwachen, um den unentschieden gebliebenen Kampf fortzusetzen, so sehen wir noch in unseren Tagen jene beiden Theorien nach langer Erstarrung wieder gegeneinander kämpfen. Freilich nicht mehr mit den alten Waffen: Berthollets Theorie hat den Panzer mathematischer Fassung angetan, während Bergmanns Theorie durch das schwere Geschütz der Thermochemie verteidigt werden soll. Aber es sind beiderseits wieder dieselben Grundanschauungen: nach dem einen gilt in der Chemie nur und ausschließlich das Recht des Stärkeren, welches durch eine Entwicklung von Wärme beim betreffenden Vorgange bewiesen

wird, nach den anderen kommt bei jedem chemischen Konflikt zuletzt immer ein Ausgleich zu stande.

Wiewohl der Kampf noch wogt, läßt sich schon absehen, auf wessen Seite der Sieg bleiben wird. Mit der Anschauung, daß die chemischen Vorgänge einseitig und vollständig verlaufen, sei es, weil die zusammentretenden Stoffe nach Bergmann die „stärkeren" sind, sei es, weil bei der entsprechenden Reaktion nach Berthelot die größte Wärmemenge entbunden wird, stehen zu viele Tatsachen im Widerspruch, als daß sie haltbar wäre. Dagegen läßt sich eine schon jetzt sehr große Anzahl von überraschend guten Bestätigungen der auf Grundlage von Berthollets Gedanken entwickelten Theorie verzeichnen und dieselbe hat in ihrer jetzigen Form nur Erfolge, nirgend eine Niederlage zu verzeichnen gehabt. (48)

Am sichersten aber läßt sich die Frage von dem vorher genannten allgemeinen Standpunkte entscheiden. Wenn, wie Berthelot will, die chemischen Vorgänge immer in dem Sinne verlaufen, daß die größtmögliche Wärmemenge entwickelt wird, so wäre das ein Beweis, daß die Wärme unter allen Umständen eine Energieform von niedrigerem Geschlecht sein müßte, als die chemische Energie, denn ein derartiges Streben nach Umwandlung findet ja nur von höherem zu niederem Geschlecht statt. Nun sehen wir im Gegenteil, daß wir unter manchen Umständen Wärme geradeauf in chemische Energie verwandeln können: erhitzen wir kohlensauren Kalk auf etwa 800°, so trennt er sich in seine beiden Bestandteile Kohlensäure und Kalk und wir können durch passende Regelung des Druckes nach Belieben diese Trennung vollständig werden lassen, wobei chemische Energie entsteht und Wärme verbraucht wird, oder wir können beide Bestandteile durch eine unbegrenzt kleine Drucksteigerung wieder vereinigen, wobei Wärme entsteht und chemische Energie verbraucht wird. Diese Erscheinungen aber beweisen, daß beide Energieformen von gleichem Geschlecht sind. Der chemischen Energie muß auch die Eigenschaft anhaften, die wir vorher bei

der Wärme bildlich ihren Kurswert genannt haben. Ist der Kurswert der Wärme, welche bei irgend einem chemischen Vorgang, unter bestimmten Umständen entstehen kann, geringer, als der der entsprechenden chemischen Energie, so wird sich diese in jene verwandeln; im umgekehrten Falle geht Wärme in chemische Energie über. Nun ist der Kurs der letzteren nicht immer derselbe, sondern in hohem Maße davon abhängig, wieviel von den Stoffen in einem bestimmten Raume zugegen ist; je weniger da ist, um so niedriger ist relativ der Kurs. Dies hat dann schließlich zur Folge, daß entsprechend den Anschauungen, welche Berthollet vor 80 Jahren ausgesprochen hat, der schließlich eintretende Zustand meist ein solcher ist, daß alle möglichen Verbindungen gleichzeitig vorhanden sind, und zwar in Mengenverhältnissen, die durch die eben erörterten Umstände bedingt sind. Durch die mathematische Formulierung der letzteren gelangt man zu Gleichungen für die sogenannte Massenwirkung, welche durch die Erfahrung im umfänglichsten Maße bestätigt worden sind. Wenn somit heute ein neuer Goethe neue „Wahlverwandtschaften" schreiben wollte, so dürfte er das nicht mehr wie der Altmeister tun. Nachdem die gewaltigen neuen Regungen und Erschütterungen sich betätigt haben müßten, im Sinne der neueren Auffassung, still aber unwiderstehlich die alten Beziehungen sich geltend machen, und statt zum Sturze müßten die Wechselwirkungen zu einem endlichen harmonischen Ausgleich führen. Wie freilich ein solcher zu erreichen sei, könnte nur ein besserer Poet sagen, als ich leider bin.

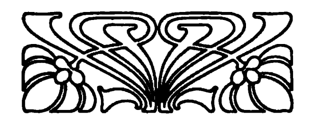
Daß wir aber diese letzte allgemeine Entscheidung in dem ein Jahrhundert alten Streit jetzt fällen können, das verdanken wir wesentlich dem Verzicht auf die Fiktion chemischer Kräfte. Ich will nicht behaupten, daß in der Mechanik und in der Physik die Einführung des Kraftbegriffes nicht einen erheblichen Nutzen gebracht hätte. Er ist aber weit ausgiebiger gebraucht worden, als nützlich wäre, und vor allem hat er sich mit dem

trügerischen Scheine einer objektiven Realität umkleidet, welche ihm keinesfalls zukommt. All die philosophischen Skrupel über die Denkbarkeit einer Fernewirkung und dergleichen wären nicht entstanden, wenn man nicht statt der Energie die Kräfte als reale Objekte anzusehen sich gewöhnt hätte. Daß sie aber das nicht sind, daß die Realität nur der Energie zukommt, und die Kräfte nur eine mathematische Fiktion sind, habe ich schon früher darzulegen gesucht.

In der Chemie insbesondere hat der Kraftbegriff nur Schaden angerichtet. Solange man chemische „Kräfte" zu messen suchte, wollte die Verwandtschaftslehre keine Fortschritte machen. Zwar findet sich der Ausdruck noch bei Guldberg und Waage, aber nur, um bald eliminiert zu werden. Zu einer allgemeinen und durchgreifenden Auffassung der Gesetze der chemischen Verwandtschaft ist man erst gelangt, als man die chemische Energie und ihre Umwandlungen zum Gegenstande der Forschung machte. Es findet hier ein vollkommener Parallelismus in der Geschichte der Chemie statt: mit der Erkenntnis, daß die chemischen Stoffe nur durch Umwandlungen der persistierenden wägbaren Materie entstehen, kam die Entdeckung der Gesetze, welche die Massenverhältnisse der chemischen Verbindungen regeln, mit der Erkenntnis, daß die chemischen Vorgänge durch Umwandlungen der persistierenden Energie bedingt sind, kam die Erkenntnis der Gesetze der chemischen Verwandtschaft.

Hochansehnliche Versammlung! Wenn in den soeben durchgeführten Entwicklungen Erörterungen allgemeinen oder philosophischen Charakters einen unerwartet breiten Raum eingenommen haben, so möge das mir nicht verdacht werden. Einer der größten Meister der Chemie hat diese Wissenschaft mit den Worten gekennzeichnet: neunundneunzig Prozent Handwerk und ein Prozent Philosophie. Wollen Sie es tadeln, wenn ich aus dem, was meine Wissenschaft mir bietet,

das Edelste wähle, um es Ihnen in dieser feierlichen Stunde darzubringen, in welcher ich Rechenschaft zu geben habe von der Art und Weise, in welcher ich Wissenschaft übe und lehre? Ihnen aber, den studierenden Kommilitonen, die sich mit mir zu gemeinsamer Arbeit vereinigen, um das mühsame Handwerk zu überwinden, Ihnen sollen diese Worte eine Erinnerung sein, über dem Handwerk und der Aussicht auf seinen goldenen Boden jenes kostbare Hundertstel nie zu vergessen!



2

ÜBER CHEMISCHE ENERGIE

(Vortrag, gehalten in der vereinigten Sitzung der Abteilungen für Physik und Chemie auf der Versammlung der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte zu Nürnberg am 13. September 1893.)

Wenn wir uns der allgemeinen Eigenschaft erinnern, welche jeder Art Energie zukommt, daß es nämlich eine gewisse Größe (ich nenne sie nach Helm die Intensität) gibt, durch deren Gleichheit oder Ungleichheit bestimmt wird, ob die fragliche Energie im Gleichgewicht ist oder nicht, so werden wir bezüglich der chemischen Energie auf ein interessantes Resultat geführt. Wir müssen nämlich erwarten, daß ähnlich wie für die Intensitätsgrößen Temperatur, Druck, elektrisches Potential Meßinstrumente vorhanden sind, welche den Zahlenwert dieser Größen unmittelbar oder mittelbar ablesen lassen, auch für die Intensität der chemischen Energie ein solches Meßinstrument sich müsse herstellen lassen, und ähnlich, wie das Thermometer für die Wärme, das Manometer für die Volumenenergie, das Elektrometer für die elektrische Energie allgemein bestimmen läßt, ob zwei Gebiete bei ihrer unmittelbaren Berührung im thermischen, mechanischen oder elektrischen Gleichgewicht sein werden oder nicht, müßte es ein „Chemometer" geben, durch dessen Anwendung auf zwei Stoffe oder Stoffkomplexe wir

beit, welche der Übertragung einer bestimmten Stoffmenge von einem Zustande in einen anderen entspricht, dividiert durch diese Stoffmenge. Es ist daher zunächst nicht möglich, chemische Intensitätswerte voraussetzungslos oder absolut zu bestimmen, sondern es sind nur die Unterschiede dieser Werte für zwei bestimmte Zustände der Messung zugänglich. Auch soll noch besonders betont werden, daß bei der erwähnten Übertragung alle anderen Energien konstante Intensitätswerte haben sollen.

Daß die eben gegebene Bestimmung der chemischen Intensitätsgröße, oder des chemischen Potentials, wie dieser Wert von Willard Gibbs genannt worden ist, mit der allgemeinen Begriffsbestimmung der Intensitätsgrößen übereinstimmt, wird sofort ersichtlich, wenn man sie auf die Frage des Gleichgewichts anwendet. Gleichgewicht setzt gleiche Intensitäten voraus; daraus folgt, daß für die Einheit der Stoffmenge die bei der Übertragung aus einem der im Gleichgewicht befindlichen Gebiete in das andere verbrauchte oder gewonnene Arbeit gleich Null sein muß. In der Tat ist das auch die sachgemäße Definition des Gleichgewichtes überhaupt.

Nachdem auf diese Weise der Intensitätsfaktor der chemischen Energie erkannt ist, scheint die Herstellung eines „Chemometers" nur noch eine praktische Frage zu sein, wie die des Thermometers, nachdem der Begriff der Temperatur festgestellt war. Will man indessen die Sache praktisch ausführen, so stößt man auf eine eigentümliche Schwierigkeit, welche in der mangelnden Vergleichbarkeit der chemischen Größen liegt. Auch hier müssen wir etwas weiter ausholen, um das Wesen der Frage besser zu übersehen.

Temperaturen, Massen und manche andere Größen sind endgültig bestimmt, wenn man ihren Zahlenwert angibt. Zwei Temperaturen, deren Werte (in gleichen Einheiten gemessen) dieselben sind, sind vollkommen gleich und in nichts verschieden.

Diese Einfachheit der Bestimmung kommt aber nicht allen

Größen zu. Elektrische Potentiale sind z. B. bei gleichem numerischen Wert noch nicht notwendig gleich, denn sie können dem Zeichen nach verschieden sein; sie bedürfen also zweier Bestimmungsstücke. Geschwindigkeiten, Kräfte, Bewegungsgrößen haben noch mehr Bestimmungsstücke nötig; zwei numerisch gleiche Kräfte können noch dem Zeichen und der Richtung nach verschieden sein, und zur Bestimmung der Richtung gehören noch die drei Richtungskosinus in bezug auf irgend ein gegebenes Axensystem. Alle diese Größen besitzen indessen stets eine endliche Anzahl von bestimmenden Elementen und lassen sich mittelst derselben aufeinander überführen. (50)

Die Faktoren der chemischen Energie aber entbehren auch dieser gegenseitigen Beziehung; sie sind voneinander in unendlich vielen Stücken verschieden, und es haben beispielsweise Eisen und Sauerstoff zueinander gar kein unmittelbares Verhältnis; es gibt kein Mittel, ein Gramm Eisen in so und so viel Gramm Sauerstoff überzuführen oder durch Sauerstoff gleichwertig zu ersetzen, während man die früher betrachteten Größen stets in andere der gleichen Art überführen konnte. Und was für die Kapazitätsgrößen der chemischen Energie gilt, muß notwendig auch für die Intensitätsgrößen gelten, da diese mittelst jener definiert sind.

Die einzige Art von Beziehungen, welche zwischen den chemischen Energiefaktoren möglich ist, wird durch die chemischen Reaktionsgleichungen zum Ausdruck gebracht. Wenn wir schreiben

$$\text{Eisen} + \text{Sauerstoff} = \text{Eisenoxyd},$$

so sagen wir, daß zwischen Eisen und Sauerstoff keine unmittelbare oder gegenseitige Umwandlungsbeziehung besteht, daß aber allerdings eine solche zwischen den drei Stoffen Eisen, Sauerstoff und Eisenoxyd vorhanden ist, derart, daß aus den beiden ersten der dritte gebildet werden kann, und umgekehrt aus Eisenoxyd Eisen und Sauerstoff. Die gebräuchliche Wendung, daß Eisenoxyd aus Eisen und Sauerstoff besteht, ist zwar kurz,

aber ungenau. Denn im Eisenoxyd finden wir weder die Eigenschaften des Eisens, noch die des Sauerstoffs, und sagt man, daß zwar die Eigenschaften beider Stoffe verschwinden, diese aber ihrer Substanz nach trotzdem vorhanden seien, so braucht man sich nur einmal ernstlich zu bemühen, mit diesem Ausdruck klare und bestimmte Vorstellungen zu verbinden; das Resultat wird unzweifelhaft das sein, daß man jede weitere Bemühung in dieser Richtung aufgeben wird. Zwar pflegt der heutige Chemiker so frühzeitig an die (übrigens pädagogisch sehr zweckmäßige) Atomhypothese gewöhnt zu werden, daß ihm Zweifel an der Realität der Atome und an ihrer Fortexistenz in den Verbindungen überhaupt nicht aufzusteigen pflegen; um so nötiger aber ist es, bei einer Untersuchung allgemeiner Art das Tatsächliche sorgsam vom Hypothetischen zu scheiden, um sicheren Grund zum Weiterbauen zu haben.

Wir schließen sonach aus diesen Betrachtungen, daß die Kapazitätsgrößen der chemischen Energie nicht wie alle anderen Kapazitätsgrößen ein gemeinsames Maß besitzen, sondern sich nur auf so viele untereinander unabhängige Arten zurückführen lassen, als es sogenannte Elemente gibt. Zwischen diesen Elementen besteht nun insofern eine Beziehung, der zufolge viele von ihnen so aufeinander wirken können, daß neue Stoffe, also auch neue Kapazitätsgrößen entstehen, die aber nicht mehr unabhängig sind, sondern in der Beziehung zu den Elementen stehen, daß sie sich als Summe jener darstellen lassen. Diese Beziehungen sind im übrigen den bekannten stöchiometrischen Gesetzen unterworfen: dem der konstanten Proportionen, der multiplen Proportionen, der Verbindungsgewichte. Dazu kommt das bereits erwähnte Gesetz von der Erhaltung der Art, nach welchem ein Übergang von einem Element zum anderen unmöglich ist.

Ganz denselben Einschränkungen sind die entsprechenden Intensitätsgrößen der chemischen Energie unterworfen; auch hier gibt es die etwa 70 Arten, die in keiner Weise aufein-

ander bezogen werden können, und die vorhandenen Beziehungen zwischen den Elementen und den chemischen Verbindungen gehorchen den stöchiometrischen Gesetzen.

Wenn wir uns daher ein „Chemometer" in dem früher erwähnten Sinne wirklich ausgeführt denken, so können wir uns nicht mit einem einzigen begnügen. Wir müßten mindestens 70 voneinander unabhängige derartige Apparate besitzen, für jedes Element eines, und hätten kein Mittel, die Angaben des Sauerstoff-Chemometers mit denen des Wasserstoffapparates zu vergleichen u. s. w.

Nach diesem scheinen also die besonderen Eigentümlichkeiten der chemischen Energie die Möglichkeit, solche Apparate allgemeiner Natur herzustellen, völlig abzuschneiden. Denn Manometer, Elektrometer, Thermometer u. s. w. sind ja nur dadurch möglich, daß alle Drucke, elektrische Potentiale, Temperaturen wesensgleich sind, und die Beziehung je zweier individueller Werte dieser Art durch zwei Zahlen völlig dargestellt werden kann.

Bei weiterem Nachdenken erscheint indessen doch die Sache nicht so hoffnungslos. Zwar ein allgemeines und absolutes Chemometer ist nicht möglich. Wohl aber läßt sich für viele Fälle die Intensität der chemischen Energie doch in vergleichbarem Maß ausdrücken, unabhängig davon, daß die Faktoren der chemischen Energie in bezug aufeinander diese große Zahl von irreduziblen Fällen aufweisen. Es gelingt dies durch die Benutzung solcher Energiearten, welche mit chemischen Vorgängen untrennbar verknüpft sind, und zwar erweist sich als geeignetste Energie für diesen Zweck die elektrische.

Nach dem Faradayschen Gesetz, dessen weittragende Bedeutung eigentlich erst in unseren Tagen offenbar geworden ist, zeigen sich bei vielen chemischen Vorgängen, nämlich allen, bei welchen Elektrolyte beteiligt sind, elektrische Vorgänge, die proportional den chemischen verlaufen und mit ihnen in untrennbarem Zusammenhang stehen. Der Zusammenhang ist

derart, daß die Kapazitätsgrößen der elektrischen Energie, die Elektrizitätsmengen, proportional den Kapazitätsgrößen der chemischen Energie, den Stoffmengen, sind, und zwar ist bei verschiedenen Stoffen die mit chemisch äquivalenten Mengen verbundene Elektrizitätsmenge stets dieselbe.

Auf Grund des Faradayschen Gesetzes ist es nun möglich, die Vorgänge zwischen Elektrolyten so zu leiten, daß sie nicht ohne gleichzeitige Elektrizitätsbewegung stattfinden können, und daß die Arbeitsmengen, die man aus dem chemischen Prozeß gewinnen kann, in Gestalt von elektrischer Energie zu tage treten. Da nun einerseits die elektrische Energie der chemischen* gleich ist, andererseits die beiderseitigen Kapazitätsfaktoren, die Stoffmengen und die Elektrizitätsmengen nach dem Faradayschen Gesetz proportional sind, so müssen auch die Intensitätsgrößen, das chemische Potential und die elektromotorische Kraft einander proportional sein, und das Elektrometer dient als „Chemometer" in dem früher dargelegten Sinne. Und zwar haben wir, da elektromotorische Kräfte sich nur durch Zahl und Vorzeichen unterscheiden können, ein allgemeines Maß des chemischens Potentials, oder wie wir die Größe auch mit Recht nennen können, der chemischen Verwandtschaft.

Um uns das Ergebnis durch ein Beispiel anschaulicher zu machen, nehmen wir irgend einen einfachen chemischen Vorgang, z. B. die Fällung des Silbernitrats durch Chlornatrium. Wollen wir diesen Vorgang elektrochemisch verwerten, so müssen wir ihn in zwei Teile zerlegen, welche zwar gleichzeitig, aber räumlich getrennt ablaufen, da wir sonst nicht die chemische Energie in elektrische verwandeln können, sondern sie als Wärme erhalten. Wir erreichen dies, wenn wir zwei Silberplatten nehmen, die eine in die Silbernitratlösung tun und die andere in die Chlornatriumlösung. Werden beide Lösungen durch

* Diese chemische Energie ist nicht mit der Wärmetönung identisch, sondern der Teil der Energie, welcher in andere Formen (Arbeit) verwandelbar ist.

einen indifferenten Elektrolyten, z. B. Natriumnitrat, in Verbindung gesetzt, so zeigen die beiden Silberplatten einen ziemlich erheblichen Potentialunterschied von etwas mehr als 0,5 Volt, und läßt man durch leitende Verbindung beider Platten den Strom erfolgen, so bildet sich auf der im Chlornatrium stehenden Platte Chlorsilber, während an der anderen Platte sich metallisches Silber ausscheidet. Das chemische Ergebnis des ganzen Vorganges ist genau dasselbe, als wenn das Chlornatrium unmittelbar in die Silbernitratlösung gebracht wäre.

Auf gleiche Weise lassen sich alle chemischen Vorgänge zwischen Elektrolyten in Voltasche Ketten übersetzen, wobei nur immer dafür Sorge getragen werden muß, daß der chemische Vorgang nicht ohne den elektrischen verlaufen kann. So hat man z. B. sich viel um die Kette bemüht, welche durch einen der wichtigsten Vorgänge, die Neutralisation einer Säure durch eine Basis, bedingt wird. Man erhält eine solche, wenn man in die Säure und in das Alkali je eine Platin- oder Palladiumplatte senkt, welche mit Wasserstoff gesättigt sind. Es erfolgt dann bei entsprechender Verbindung auf der Seite des Alkalis eine Aufnahme des Wasserstoffes, während auf der Seite der Säure ein gleichgroße Wasserstoffentwicklung stattfindet; gleichzeitig werden durch den Strom zwischen den Lösungen die basischen Kationen und die sauren Anionen in entsprechender Zahl gegeneinander bewegt und somit neutralisiert. Die elektromotorische Kraft der Neutralisation beträgt etwa $^3/_4$ Volt für starke Säuren und Basen, und ist für schwächere natürlich geringer.

Es würde viel zu weit führen, wenn ich Ihnen auch nur alle typischen Fälle der möglichen Reaktionen zwischen Säuren, Basen und Salzen vorlegen wollte; es muß die Bemerkung genügen, daß es immer geht, und daß man für jeden derartigen Vorgang eine zugehörige elektromotorische Kraft erhält.

Hierbei ist noch eine Bemerkung zu machen. Die elektromotorische Kraft der beschriebenen Ketten setzt sich wesentlich aus zwei Summanden zusammen, den Potentialdifferenzen, welche

an jeder Elektrode in bezug auf die Flüssigkeit bestehen. Man braucht daher nicht alle Kombinationen unmittelbar zu messen, sondern kann sich begnügen, sämtliche Kombinationen mit einer Elektrode zu bestimmen, um, wenn man z. B. 20 verschiedene Stoffe hat, die elektromotorischen Kräfte sämtlicher 200 Kombinationen berechnen zu können, welche zwischen diesen möglich sind.

Somit ist das Problem des Chemometers für Elektrolyte gelöst. Bei der Wichtigkeit des Ergebnisses und dem allgemeinen Charakter der benutzten Ableitung wird es vielleicht zweckmäßig sein, auf einem anderen Wege die Richtigkeit des Resultates nachzuweisen. Dazu will ich von einer Form des zweiten Hauptsatzes der Energetik Gebrauch machen, die, obwohl im Prinzip bereits vor langen Jahren von Lord Kelvin benutzt, doch erst in letzter Zeit allgemein ausgesprochen worden ist. Der fragliche Satz lautet: was auf eine Weise im Gleichgewicht ist, muß auf alle Weise im Gleichgewicht sein und sein Beweis liegt darin, daß es jedes Mal, wo er nicht erfüllt ist, möglich ist, ein perpetuum mobile zweiter Art, ein Gebilde, in welchem ruhende Energie sich freiwillig in Bewegung setzt, zu konstruieren, was prinzipiell unmöglich ist.

Denken wir uns nun, wir hätten zwei Stoffe, die wir in geeigneter Weise anordnen, im chemischen Gleichgewicht, sie zeigen aber eine elektrische Differenz oder eine elektromotorische Kraft. Dann lassen wir den Strom stattfinden (und treiben irgend eine Maschine mit seiner Hilfe) bis infolge der den Strom begleitenden chemischen Änderungen elektrisches Gleichgewicht eingetreten ist. Alsdann muß das vorher vorhandene chemische Gleichgewicht gestört sein; durch Wechselwirkung der Stoffe können wir es wieder herstellen. Alsdann sind aber wieder die Bedingungen gegeben, um von Neuem elektrische Arbeit zu erhalten und so fort. Dieselbe Schlußreihe gilt, wenn wir mit der Voraussetzung anfangen, die Stoffe seien im elektrischen, aber nicht im chemischen Gleichgewicht.

Es muß also gleichzeitig chemisches und elektrisches Gleichgewicht stattfinden; ist ersteres nicht vorhanden, so kann auch letzteres nicht bestehen, und zwar müssen beide Abweichungen so stattfinden, daß die durch die elektromotorische Kraft bedingten chemischen Vorgänge im Sinne einer Annäherung an das Gleichgewicht tätig sind.

Ebenso läßt sich nachweisen, daß die Unterschiede des chemischen und des elektrischen Potentials in gleichem Sinne zu- und abnehmen müssen; wir brauchen uns zu diesem Zwecke nur die vorhandenen chemischen und elektrischen Intensitätsunterschiede durch eine geeignete Anzahl entsprechend geschalteter Ketten kompensiert zu denken, und die oben gemachten Schlüsse anzuwenden; doch überlasse ich, um nicht weitläufig zu werden, die Ausführung dieser Schlüsse Ihnen.

Wir können somit das Ergebnis als gesichert ansehen, daß in der Tat das Elektrometer als „Chemometer" dienen kann. Es entsteht alsbald die Frage nach dem Umfang, in welchem sich dies Verfahren anwenden läßt. Da es daran geknüpft ist, daß der chemische Vorgang proportional dem elektrischen erfolgt, so ist, wie erwähnt, das Vorhandensein von Elektrolyten eine notwendige Voraussetzung des Verfahrens; bis zu welchem Minimum elektrischer Leitfähigkeit man gehen kann, hängt offenbar davon ab, mit wie wenig Elektrizität man das Elektrometer betätigen kann. Da ist es nun ein ganz besonders günstiger Umstand, daß die an den Ionen haftenden Elektrizitätsmengen außerordentlich groß sind, so daß Stoffmengen, die weit außerhalb des Gebietes des Wägbaren liegen, noch sehr ausreichende Elektrizitätsmengen zur Betätigung des Elektrometers liefern können. Wir haben in der Tat in dieser Richtung eher über zu große, als zu geringe Empfindlichkeit zu klagen. Andererseits ist es schon jetzt sicher, daß das Gebiet der Elektrolyte sehr viel weiter zu erstrecken ist, als über die wässerigen Lösungen von Säuren, Basen und Salzen. Eine verhältnismäßig große Zahl organischer Verbindungen läßt sich unzweifelhaft

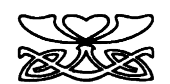
den gewöhnlichen Elektrolyten anreihen, und es ist auch hier Sache der fortschreitenden experimentellen Bearbeitung, das Verfahren stufenweise immer weiter und weiter auszudehnen; schon das, was jetzt unmittelbar zugänglich ist, wird die Arbeit einer Reihe von Jahren erfordern, um experimentell durchforscht zu werden.

Schließlich möchte ich noch einer Frage zuvorkommen, die vielleicht schon der eine oder der andere inzwischen erwogen hat. Die elektrische Energie ist nur eine von denen, welche die chemischen Vorgänge begleitet; da wir aber stets Volumänderungen, oder bei Lösungen Änderungen des osmotischen Druckes mit chemischen Vorgängen verknüpft sehen, so muß geschlossen werden, daß auch die Volumenenergie Hilfsmittel zur Messung des chemischen Potentials oder der Verwandtschaft liefern kann. Ja, überlegt man, daß die neuere Theorie der Voltaschen Ketten ihre Wirkung überall auf die Betätigung osmotischer Drucke, d. h. auf die Änderungen der Volumenenergie zurückführt, so erkennt man in letzteren das Fundamentale, vom chemischen Vorgang Untrennbare, während wir zur Gewinnung der chemischen Energie als elektrische stets besonderer Veranstaltungen bedürfen.

In der Tat kann man für eine große Anzahl chemischer Vorgänge ganz analoge Betrachtungen durchführen, in welchen der Druck eine ähnliche Rolle spielt wie die elektromotorische Kraft und wir wissen zudem, daß gleichfalls für Lösungen und Gase die Kapazitätsgröße der Volumenenergie, das Volumen, der chemischen Kapazitätsgröße proportional ist, und für chemisch vergleichbare Mengen (die Molekulargewichte) gleich groß ist. Es zeigen sich also ganz ähnliche Verhältnisse wie vorher, aber doch mit einem für die experimentelle Seite der Frage sehr wesentlichen Unterschiede. Die freie oder verwandelbare elektrische Energie ist einfach gleich dem Produkt aus der Elektrizitätsmenge und dem Potentialunterschied, und letzterer ist das Maß derselben, da die erstere nach dem Faradayschen Gesetz für

chemisch äquivalente Mengen verschiedener Stoffe gleich ist. Die Volumenenergie dagegen stellt sich in dem bisher allein zugänglichen Falle der Lösungen und Gase als das Produkt des Volums mit dem Unterschied der Logarithmen zweier Drucke dar. Für gleiche Unterschiede des chemischen Potentials wachsen also die Drucke nicht in arithmetischer Reihe, sondern in geometrischer, und gelangen dadurch sehr bald nach oben wie nach unten in Gebiete, die der Messung ganz unzugänglich sind.

Um ein Beispiel zu geben, würde ein Unterschied des chemischen Potentials, der elektrometrisch durch ein Volt ausgedrückt wird, im günstigsten Falle dem Verhältnis zweier Drucke entsprechen, von denen der eine 10^{17} mal größer ist als der andere. Nehmen wir als niedrigsten meßbaren Druck, $^{1}/_{1000}$ Atmosphäre an, so müßte der andere noch 10^{14}, also 100000 Milliarden Atmosphären betragen, während unsere Meßhilfsmittel über 1000 Atmosphären kaum hinausgehen. Da ferner chemische Potentiale bis zum Betrage von 3 oder 4 Volt in elektrischem Maße gemessen worden sind, so kommen wir zu den ganz unvorstellbaren Werten von 10^{48} oder 10^{65} Atmosphären, die wir messen müßten, um günstigsten Falles das zu ermitteln, was uns das Elektrometer ohne jede Schwierigkeit gibt.



3

DIE ÜBERWINDUNG DES WISSENSCHAFTLICHEN MATERIALISMUS

(Vortrag, gehalten in der dritten allgemeinen Sitzung der Versammlung der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte zu Lübeck am 20. Sept. 1895.)



s ist zu allen Zeiten darüber geklagt worden, daß über die wichtigsten und grundlegendsten Fragen der Menschheit so wenig Einigkeit herrsche. Nur in unseren Tagen ist bezüglich einer der größten dieser Fragen die Klage fast verstummt; wenn auch noch mancherlei Widersprüche vorhanden sind, so darf doch behauptet werden, daß selten zu irgend einer Zeit eine so verhältnismäßig große Übereinstimmung in bezug auf die Auffassung der äußeren Erscheinungswelt bestanden hat, wie gerade in unserem naturwissenschaftlichen Jahrhundert. Vom Mathematiker bis zum praktischen Arzt wird jeder naturwissenschaftlich denkende Mensch auf die Frage, wie er sich die Welt „im Inneren" gestaltet denkt, seine Ansicht dahin zusammenfassen, daß die Dinge sich aus bewegten Atomen zusammensetzen, und daß diese Atome und die zwischen ihnen wirkenden Kräfte die letzten Realitäten seien, aus denen die einzelnen Erscheinungen bestehen. In hundertfältigen Wiederholungen kann man den Satz hören und lesen, daß für die physische Welt kein anderes Verständnis gefunden werden kann, als indem man sie auf

„Mechanik der Atome“ zurückführt; Materie und Bewegung erscheinen als die letzten Begriffe, auf welche die Mannigfaltigkeit der Naturerscheinungen bezogen werden muß. Man kann diese Auffassung den wissenschaftlichen Materialismus nennen.

Es ist meine Absicht, meine Überzeugung dahin auszusprechen, daß diese so allgemein angenommene Auffassung unhaltbar ist; daß diese mechanistische Weltansicht den Zweck nicht erfüllt, für den sie ausgebildet worden ist; daß sie mit unzweifelhaften und allgemein bekannten und anerkannten Wahrheiten in Widerspruch tritt. Der Schluß, der hieraus zu ziehen ist, kann keinem Zweifel unterliegen: die wissenschaftlich unhaltbare Anschauung muß aufgegeben und womöglich durch eine andere und bessere ersetzt werden. Die naturgemäß hier aufzuwerfende Frage, ob solch eine andere und bessere Anschauung vorhanden ist, glaube ich bejahen zu sollen. Was ich Ihnen zu sagen habe, hochgeehrte Versammlung, wird sich demnach regelrecht in zwei Teile sondern lassen, den zerstörenden und den aufbauenden. Auch in diesem Falle ist Zerstören leichter als Aufbauen, und die Unzulänglichkeit der üblichen mechanistischen Ansicht wird leichter nachzuweisen sein, als die Zulänglichkeit der neuen, die ich als die energetische bezeichnen möchte. Wenn ich aber alsbald betone, daß diese neue Auffassung bereits auf dem ruhiger Erwägung und rücksichtsloser Prüfung so besonders günstigen Gebiete der experimentellen Wissenschaften sich zu bewähren Gelegenheit gehabt hat, so wird dies, wenn auch nicht die Überzeugung von ihrer Richtigkeit, so doch die Anerkennung ihres Anspruches auf Beachtung begründen können.

Es ist vielleicht nicht überflüssig, wenn ich von vornherein betone, daß es sich heute für mich ausschließlich um eine naturwissenschaftliche Erörterung handelt. Ich sehe grundsätzlich und unbedingt ab von allen Schlüssen, welche aus

diesem Ergebnis für andere, ethische und religiöse, Angelegenheiten gezogen werden können. Ich tue dies nicht, weil ich die Bedeutung solcher Schlüsse mißachte, sondern weil mein Ergebnis unabhängig von solchen Erwägungen, rein auf dem Boden der exakten Wissenschaften gewonnen worden ist. Auch für die Bearbeitung dieses Bodens gilt das Wort, daß, wer die Hand an den Pflug legt und schauet zurück, für dieses Reich nicht geschaffen ist. Keinem zu Leid oder zu Liebe ist der Naturforscher verpflichtet, zu sagen, was er gefunden hat, und wir dürfen der Kraft vertrauen, daß ehrliches Suchen nach ihr uns vielleicht vorübergehend, nie aber dauernd vom rechten Wege entfernen kann.

Ich verkenne nicht, daß mein Unternehmen mich in Widerspruch setzt mit der Ansicht von Männern, die großes in der Wissenschaft geleistet haben, und zu denen wir alle bewundernd emporschauen. Mögen Sie es mir nicht als Überhebung auslegen, wenn ich mich in einer so wichtigen Sache mit ihnen in Widerspruch setze. Sie werden es auch nicht Überhebung nennen, wenn der Matrose, der den Dienst im Mastkorbe hat, durch den Ruf „Brandung vorn" den Weg des großen Schiffes ablenkt, auf welchem er nur ein geringes dienendes Glied ist. Er hat die Pflicht, zu melden, was er sieht, und er würde dieser Pflicht entgegen handeln, wenn er es unterließe. In solchem Sinne ist es eine Pflicht, deren ich mich heute entledige. Ist doch keiner von Ihnen gehalten, seinen wissenschaftlichen Kurs bloß auf meinen Ruf „Brandung vorn" zu ändern; jeder von Ihnen mag prüfen, ob es Wirklichkeit ist, was mir vor Augen steht oder ob mich ein Scheinbild täuscht. Da ich aber glaube, daß die besondere Art wissenschaftlicher Beschäftigung, die mein Beruf ist, mich augenblicklich gewisse Erscheinungen deutlicher erkennen läßt, als sie sich von anderen Gesichtspunkten darstellen, so müßte ich es als ein Unrecht betrachten, wenn ich aus äußeren Gründen ungesagt ließe, was ich gesehen habe.

Um uns in der Unendlichkeit der Erscheinungswelt zurechtzufinden, bedienen wir uns immer und überall der gleichen wissenschaftlichen Methode. Wir stellen das Ähnliche zum Ähnlichen und suchen in der Mannigfaltigkeit das Gemeinsame. Auf diese Art wird die stufenweise Bewältigung der Unendlichkeit unserer Erscheinungswelt bewerkstelligt, und es entstehen in aufeinanderfolgender Entwicklung für diesen Zweck immer wirksamere Mittel der Zusammenfassung. Von dem bloßen Verzeichnis gelangen wir zu dem System, von diesem zum Naturgesetz, und dessen umfassendste Form verdichtet sich in den Allgemeinbegriff. Wir nehmen wahr, daß die Erscheinungen der tatsächlichen Welt, so unbegrenzt ihre Mannigfaltigkeit auch ist, doch nur ganz bestimmte und ausgezeichnete Einzelfälle der formell denkbaren Möglichkeiten darstellen. In der Bestimmung der wirklichen Fälle aus den möglichen besteht die Bedeutung der Naturgesetze, und die Gestalt, auf die sich alle zurückführen lassen, ist die Ermittlung einer Invariante, einer Größe, die unveränderlich bleibt, wenn auch alle übrigen Bestimmungsstücke innerhalb der möglichen und durch das Gesetz ausgesprochenen Grenzen sich ändern. So sehen wir, daß die geschichtliche Entwicklung der wissenschaftlichen Anschauung sich immer an die Entdeckung und Herausarbeitung solcher Invarianten knüpft; in ihnen veranschaulichen sich die Meilensteine des Erkenntnisweges, den die Menschheit gegangen ist.

Eine solche Invariante von allgemeiner Bedeutung wurde in dem Begriff der Masse gefunden. Diese liefert nicht nur die Konstanten der astronomischen Gesetze, sondern sie erweist sich nicht minder unveränderlich bei den einschneidendsten Änderungen, denen wir die Objekte der Außenwelt unterziehen können, den chemischen Vorgängen. Dadurch ergab sich dieser Begriff als in hohem Maße geeignet, zum Mittelpunkte der naturwissenschaftlichen Gesetzmäßigkeit gemacht zu werden. Freilich war er an sich zu arm an Inhalt, um zur Darstellung

der mannigfaltigen Erscheinungen dienen zu können, und mußte deshalb entsprechend erweitert werden. Dies geschah, indem man mit jenem einfach mechanischen Begriffe die Reihe von Eigenschaften, die erfahrungsmäßig mit der Masseneigenschaft verbunden sind und ihr proportional gehen, zusammenfließen ließ. So entstand der Begriff der Materie, in welchen man alles sammelte, was sinnfällig mit der Masse verbunden war und mit ihr zusammenblieb wie das Gewicht, die Raumerfüllung, die chemischen Eigenschaften u. s. w., und das physikalische Gesetz von der Erhaltung der Masse ging in das metaphysische Axiom von der Erhaltung der Materie über.

Es ist wichtig, einzusehen, daß mit dieser Erweiterung eine Menge hypothetischer Elemente in den ursprünglich ganz hypothesenfreien Begriff aufgenommen wurde. Insbesondere mußte im Lichte dieser Anschauung der chemische Vorgang entgegen dem Augenscheine so aufgefaßt werden, daß keineswegs die von der chemischen Änderung betroffene Materie verschwindet und an ihre Stelle neue mit neuen Eigenschaften tritt. Vielmehr verlangte die Ansicht die Annahme, daß, wenn auch beispielsweise alle sinnfälligen Eigenschaften des Eisens und des Sauerstoffs im Eisenoxyde verschwunden waren, Eisen und Sauerstoff in dem entstandenen Stoffe nichtsdestoweniger vorhanden seien und nur eben andere Eigenschaften angenommen hätten. Wir sind jetzt an eine solche Auffassung so gewöhnt, daß es uns schwer fällt, ihre Sonderbarkeit, ja Absurdität zu empfinden. Wenn wir uns aber überlegen, daß alles, was wir von einem bestimmten Stoffe wissen, die Kenntnis seiner Eigenschaften ist, so sehen wir, daß die Behauptung, es sei ein bestimmter Stoff zwar noch vorhanden, hätte aber keine von seinen Eigenschaften mehr, von einem reinen Nonsens nicht sehr weit entfernt ist. Tatsächlich dient uns diese rein formelle Annahme nur dazu, die allgemeinen Tatsachen der chemischen Vorgänge, insbesondere die stöchiometrischen Massengesetze, mit dem willkürlichen Begriffe einer an sich unveränderlichen Materie zu vereinigen.

Aber auch mit dem so erweiterten Begriffe der Materie nebst den erforderlichen Nebenannahmen kann man die Gesamtheit der Erscheinungen nicht umfassen, nicht einmal im Anorganischen. Die Materie wird als etwas an sich Ruhendes, Unveränderliches gedacht; um mit diesem Begriff die Darstellung der beständig sich verändernden Welt zu ermöglichen, muß er noch durch einen anderen, davon unabhängigen ergänzt werden, welcher diese Veränderlichkeit zum Ausdruck bringt. Ein solcher Begriff war auf das erfolgreichste von Galilei, dem Schöpfer der wissenschaftlichen Physik, ausgebildet worden; es war die Konzeption der Kraft, der konstanten Bewegungsursache. Galilei hatte für die veränderlichen Erscheinungen des freien und abgeleiteten Falles eine hochwichtige Invariante entdeckt; durch den Ansatz der an sich beständigen Schwerkraft, deren Wirkungen sich unaufhörlich summieren, hatte er die vollsändige Darstellung dieser Vorgänge ermöglicht. Und von welcher Tragweite dieser Begiff war, erwies sich dann durch Newton, der mit seiner Idee, daß die gleiche Kraft als Funktion der Entfernung zwischen den Himmelskörpern wirksam sei, die Gesamtheit der sichtbaren Sternenwelt wissenschaftlich erobert hatte. Es war insbesondere dieser Fortschritt, welcher die Überzeugung erweckte, daß auf die gleiche Weise, wie die astronomischen, auch alle anderen physischen Erscheinungen sich durch die gleichen Hilfsmittel darstellen lassen müßten. Als dann vollends am Anfange unseres Jahrhunderts durch die Bemühungen einer Anzahl, insbesondere französischer, hervorragender Astronomen sich ergeben hatte, daß das Newtonsche Gravitationsgesetz nicht nur die Bewegungen der Himmelskörper in großen Zügen darzustellen vermochte, sondern dazu noch die weit eingehendere Prüfung der zweiten Annäherung bestand, indem auch die kleinen Abweichungen von den typischen Bewegungsformen, die Störungen, sich mit gleicher Sicherheit und Genauigkeit aus dem gleichen Gesetz berechnen ließen, da mußte das Zutrauen in die Ausgiebigkeit dieser

Auffassung in ganz außerordentlichem Maße gesteigert werden. Was lag näher, als die Erwartung, daß die Theorie, die in so vollkommener Weise die Bewegungen der großen Weltkörper darzustellen vermocht hatte, auch das rechte, ja einzige Mittel sein müßte, um auch die Vorgänge in der kleinen Welt der Atome der wissenschaftlichen Herrschaft zu unterwerfen? So entstand die mechanistische Auffassung der Natur, nach welcher alle Erscheinungen, zunächst der unbelebten Natur, in letzter Instanz auf nichts, als die Bewegung von Atomen nach gleichen Gesetzen, wie sie für die Himmelskörper erkannt worden waren, zurückzuführen sind. Daß diese Auffassung von dem Gebiete des Anorganischen alsbald auf das der belebten Natur übertragen wurde, war eine notwendige Konsequenz, nachdem einmal erkannt worden war, daß die gleichen Gesetze, welche dort gelten, auch hier ihre unverbrüchlichen Rechte in Anspruch nehmen. Ihren klassischen Ausdruck fand diese Weltanschauung in der Laplaceschen Idee der „Weltformel", mittelst deren, den mechanischen Gesetzen gemäß, jedes vergangene und zukünftige Ereignis auf dem Wege strenger Analyse sollte abgeleitet werden können. Es sollte dazu ein Geist erforderlich sein, der zwar dem menschlichen weit überlegen, ihm aber doch wesensgleich und nicht grundsätzlich von ihm verschieden wäre.

Man bemerkt gewöhnlich nicht, in welch außerordentlich hohem Maße diese allgemein verbreitete Ansicht hypothetisch, ja metaphysisch ist; man ist im Gegenteil gewöhnt, sie als das Maximum von exakter Formulierung der tatsächlichen Verhältnisse anzusehen. Dem gegenüber muß betont werden, daß eine Bestätigung der aus dieser Theorie fließenden Konsequenz, daß alle die nicht mechanischen Vorgänge, wie die der Wärme, der Strahlung, der Elektrizität, des Magnetismus, des Chemismus, tatsächlich mechanische seien, auch in keinem einzigen Falle erbracht worden ist. Es ist keinem einzigen dieser Fälle gelungen, die tatsächlichen Verhältnisse durch ein ent-

sprechendes mechanisches System so darzustellen, daß kein Rest übrig blieb. Zwar für zahlreiche Einzelerscheinungen hat man mit mehr oder weniger Erfolg die mechanischen Bilder geben können; wenn man aber versucht hat, die Gesamtheit der auf einem Gebiete bekannten Tatsachen mittelst eines solchen mechanischen Bildes vollständig darzustellen, so hat sich immer und ausnahmelos ergeben, daß an irgend einer Stelle zwischen dem wirklichen Verhalten der Erscheinungen und dem, welches das mechanische Bild erwarten ließ, ein unlöslicher Widerspruch vorhanden war. Dieser Widerspruch kann lange verborgen bleiben; die Geschichte der Wissenschaft lehrt uns aber, daß er früher oder später unweigerlich zu tage tritt, und das einzige, was man von solchen mechanischen Bildern oder Analogien, die man mechanische Theorien der fraglichen Erscheinungen zu nennen pflegt, mit völliger Sicherheit sagen kann, ist, daß sie jedenfalls einmal in die Brüche gehen werden.

Ein ausgezeichnetes Beispiel für diese Verhältnisse bietet die Geschichte der optischen Theorien. Solange die gesamte Optik nicht mehr als die Erscheinungen der Spiegelung und Brechung umfaßte, war ihre Darstellung durch das von Newton aufgestellte mechanische Schema möglich, nach welchem das Licht aus kleinen Teilchen bestehen sollte, die, von dem leuchtenden Körper geradlinig ausgeschleudert, nach den Gesetzen bewegter und vollkommen elastischer Massen sich verhielten. Daß eine andere mechanische Ansicht, die von Huygens und Euler vertretene Schwingungstheorie, in dieser Beziehung genau so viel leistete, konnte zwar gegen die Alleingültigkeit der ersten Ansicht mißtrauisch machen, vermochte ihr aber die Herrschaft nicht zu rauben. Als dann die Erscheinungen der Interferenz und Polarisation entdeckt wurden, erwies sich das mechanische Bild Newtons als ganz ungeeignet, und das andere, die Schwingungstheorie, galt als erwiesen, da aus deren Voraussetzungen wenigstens die Hauptsachen der neuen Gebiete ableitbar waren.

Auch das Leben der Schwingungstheorie als einer mechanischen Theorie ist ein begrenztes gewesen, denn in unseren Tagen ist sie ohne Sang und Klang zu Grabe getragen und von der elektromagnetischen Lichttheorie abgelöst worden. Seziert man den Leichnam, so tritt die Todesursache deutlich zu tage: auch sie ist an ihren mechanischen Bestandteilen zu grunde gegangen. Der hypothetische Äther, dem man die Aufgabe, zu schwingen, auferlegte, mußte diese unter ganz besonders schwierigen Bedingungen erfüllen. Denn die Polarisationserscheinungen verlangten unbedingt, daß die Schwingungen transversale sein mußten; solche setzen aber einen starren Körper voraus, und die Rechnungen Lord Kelvins haben schließlich ergeben, daß ein Medium mit solchen Eigenschaften, wie sie der Äther haben müßte, überhaupt nicht stabil ist, also, wie daraus unvermeidlich zu schließen ist, keine physische Existenz haben kann. Wohl um der jetzt angenommenen elektromagnetischen Lichttheorie ein gleiches Schicksal zu ersparen, hat der unvergeßliche Hertz, dem diese Theorie so viel verdankt, ausdrücklich darauf verzichtet, in ihr etwas anderes zu sehen, als ein System von sechs Differentialgleichungen. Dieser Schlußpunkt der Entwicklung spricht viel eindringlicher, als ich es irgend könnte, gegen die dauernde Ersprießlichkeit der früher eingehaltenen theoretischen Wege im mechanistischen Gebiete.

Aber jene Theorien sind doch so fruchtbar gewesen, höre ich sagen. Ja, sie sind es gewesen durch ihren Betrag an richtigen Bestandteilen, wie sie durch ihre falschen schädlich geworden sind. Welches aber die richtigen, und welches die falschen Bestandteile waren, hat sich erst durch lange und kostspielige Erfahrung herausstellen müssen.

Das Ergebnis unserer bisherigen Betrachtungen ist zunächst ein rein negatives: wir haben gelernt, wie es nicht zu machen ist, und es erscheint von geringem Nutzen, solche verneinenden Resultate vorzuführen. Indessen dürfen wir schon hier einen Gewinn verzeichnen, der vielen von Ihnen nicht wertlos er-

scheinen wird. Wir finden auf unserem Wege die Möglichkeit, eine Ansicht kritisch zu beseitigen, welche ihrer Zeit ein nicht geringes Aufsehen und vielen der Beteiligten eine große Sorge gemacht hat. Ich meine die weitbekannten Darlegungen, welche der berühmte Physiologe der Berliner Universität, Emil du Bois-Reymond, zuerst vor 23 Jahren gelegentlich der Leipziger Naturforscherversammlung und später in einigen weiteren, viel gelesenen Schriften bezüglich der Aussichten unserer zukünftigen Naturerkenntnis gemacht hat, und welche in dem viel kommentierten „*ignorabimus*" gipfeln. In dem langen Streite, welcher sich an diese Rede geknüpft hat, ist, soviel ich sehen kann, du Bois-Reymond allen Angriffen gegenüber sachlich der Sieger geblieben, denn alle seine Gegner sind von derselben Grundlage ausgegangen, aus der er sein *ignorabimus* folgerte, und seine Schlüsse stehen ebenso sicher da, wie jene Grundlage. Diese Grundlage, welche inzwischen von keinem in Frage gestellt worden war, ist die mechanistische Weltanschauung, die Annahme, daß die Auflösung der Erscheinungen in ein System bewegter Massenpunkte das Ziel ist, welches die Naturerklärung erreichen könne. Fällt aber diese Grundlage, und wir haben gesehen, daß sie fallen muß, so fällt mit ihr auch das *ignorabimus*, und die Wissenschaft hat wieder freie Bahn.

Ich glaube nicht, hochgeehrte Versammlung, daß Sie dies Ergebnis mit Verwunderung aufnehmen werden; denn wenn ich nach meinen Erfahrungen urteilen soll, so hat kaum ein Naturforscher ernsthaft an das *ignorabimus* geglaubt, wenn man sich auch nicht veranschaulicht hat, in welchem Punkte das Unhaltbare jenes Schlusses gelegen hat. Wohl aber dürfte der Gewinn der negativen Kritik der mechanistischen Weltauffassung, der in der formellen Beseitigung jenes drohenden Gespenstes liegt, doch für manchen Denker, der der unentrinnbaren Logik der du Boisschen Beweisführung nichts entgegenzusetzen hatte, von einigem Wert sein.

Was hier der Anschaulichkeit wegen in bezug auf jene besonderen Erörterungen dargelegt worden ist, gilt aber beträchtlich weiter: die Beseitigung der mechanistischen Weltkonstruktion trifft die Grundlage der gesamten materialistischen Weltauffassung, dies Wort im wissenschaftlichen Sinne genommen. Erscheint es als ein vergebliches, bei jedem einzelnen ernsthaften Versuche schließlich gescheitertes Unternehmen, die bekannten physikalischen Erscheinungen mechanisch zu deuten, so ist der Schluß unabweisbar, daß dies um so weniger bei den unvergleichlich viel verwickelteren Erscheinungen des organischen Lebens gelingen kann. Die gleichen prinzipiellen Widersprüche machen sich auch hier geltend, und die Behauptung, alle Naturerscheinungen ließen sich in erster Linie auf mechanische zurückführen, darf nicht einmal als eine brauchbare Arbeitshypothese bezeichnet werden; sie ist ein bloßer Irrtum.

Am deutlichsten tritt dieser Irrtum gegenüber der folgenden Tatsache in die Erscheinung. Die mechanischen Gleichungen haben alle die Eigenschaft, daß sie die Vertauschung des Zeichens der Zeitgröße gestatten. Das heißt, die theoretisch vollkommenen mechanischen Vorgänge können ebenso gut vorwärts wie rückwärts verlaufen. In einer rein mechanischen Welt gäbe es daher kein Früher oder Später im Sinne unserer Welt; es könnte der Baum wieder zum Reis und zum Samenkorn werden, der Schmetterling sich in die Raupe, der Greis in ein Kind verwandeln. Für die Tatsache, daß dies nicht stattfindet, hat die mechanistische Weltanschauung keine Erklärung und kann wegen der erwähnten Eigenschaft der mechanischen Gleichungen auch keine haben. Die tatsächliche Nichtumkehrbarkeit der wirklichen Naturerscheinungen beweist also das Vorhandensein von Vorgängen, welche durch mechanische Gleichungen nicht darstellbar sind, und damit ist das Urteil des wissenschaftlichen Materialismus gesprochen.

Wir müssen also, dies scheint sich mit vollkommener

Gewißheit aus diesen Betrachtungen zu ergeben, endgültig auf die Hoffnung verzichten, uns die physische Welt durch Zurückführung der Erscheinungen auf eine Mechanik der Atome *anschaulich* zu deuten. Aber, höre ich hier sagen, wenn uns die Anschauung der bewegten Atome genommen wird, welches Mittel bleibt uns übrig, uns ein Bild der Wirklichkeit zu machen? Auf solche Frage möchte ich Ihnen zurufen: Du *sollst* Dir kein Bildnis oder ein Gleichnis machen! Unsere Aufgabe ist nicht, die Welt in einem mehr oder weniger getrübten oder verkrümmten Spiegel zu sehen, sondern so unmittelbar, als es die Beschaffenheit unseres Geistes nur irgend erlauben will. *Realitäten*, aufweisbare und meßbare Größen miteinander in bestimmte Beziehung zu setzen, so daß, wenn die einen gegeben sind, die anderen gefolgert werden können, das ist die Aufgabe der Wissenschaft, und sie kann nicht durch die Unterlegung irgend eines hypothetischen Bildes, sondern nur durch den Nachweis gegenseitiger Abhängigkeitsbeziehungen meßbarer Größen gelöst werden.

Unzweifelhaft ist dieser Weg lang und mühsam, doch ist er der einzig zulässige. Aber wir brauchen ihn nicht mit bitterer Entsagung für unsere Person und in der Hoffnung zu gehen, daß er einmal unsere Enkelkinder auf die ersehnte Höhe führen wird. Nein, wir selbst sind die Glücklichen, und die hoffnungsvollste wissenschaftliche Gabe, die das scheidende Jahrhundert dem aufdämmernden reichen kann, ist der Ersatz der mechanistischen Weltanschauung durch die *energetische*.

Hochgeehrte Versammlung! Ich lege an dieser Stelle das größte Gewicht darauf, zu betonen, daß es sich hier keineswegs um etwas unbedingt Neues, erst unseren Tagen Gegebenes handelt. Nein, ein halbes Jahrhundert lang befinden wir uns im Besitz, ohne uns dessen bewußt gewesen zu sein. Wenn irgendwo das Wort »geheimnisvoll offenbar« zugetroffen hat, so ist es hier: täglich konnten wir es lesen, und wir verstanden es nicht.

Als vor nun 53 Jahren Julius Robert Mayer zuerst die Äquivalenz der verschiedenen Naturkräfte oder, wie wir heute sagen, der verschiedenen Energieformen entdeckte, hat er bereits einen wesentlichen Schritt in der entscheidenden Richtung getan. Aber nach einem stets wiederkehrenden Gesetz im Denken der Allgemeinheit wird eine neue Erkenntnis nie so rein und ungetrübt aufgenommen, wie sie dargeboten wird. Der Empfänger, welcher den Fortschritt nicht innerlich erlebt, sondern von außen entgegengenommen hat, strebt vor allem darnach, das Neue, so gut es geht, an das Vorhandene anzuschließen. So wird der neue Gedanke gestört, und wenn auch nicht gerade verfälscht, so doch seiner besten Kraft beraubt. Ja, so wirksam ist diese Denkeigentümlichkeit, daß sie auch den Entdecker selbst nicht frei läßt; so hat Kopernikus' gewaltige Geisteskraft zwar ausgereicht, Sonne und Erde in ihren Bewegungen die Plätze tauschen zu lassen, nicht aber, um auch die Bewegungen der anderen Wandelsterne in ihrer Einfachheit aufzufassen; für diese behielt er die überkommene Theorie der Epizyklen bei. Ähnliches findet sich auch bei Mayer. So bestand, wie fast immer, die Arbeit der nächsten Generationen nicht darin, einfach die Ergebnisse der neuen Erkenntnis zu ernten, sondern vielmehr darin, die unwillkürlichen, nicht zur Sache gehörigen Zutaten Stück für Stück wieder zu beseitigen, bis dann schließlich der Grundgedanke in seiner ganzen schlichten Größe erscheinen mochte.

Auch in unserem Falle läßt sich eine solche Entwicklung erkennen. Nachdem J. R. Mayer das Äquivalenzgesetz aufgestellt hatte, war sein Gedanke der äquivalenten Umwandelbarkeit der verschiedenen Energieformen in seiner Einfachheit zu fremdartig, um unmittelbar aufgenommen zu werden. Vielmehr haben die drei Forscher, denen wir bezüglich der Durchführung des Gesetzes am meisten zu Dank verpflichtet sind, haben Helmholtz, Clausius und William Thomson alle drei das Gesetz dahin „deuten“ zu müssen geglaubt, daß alle

verschiedenen Energiearten im Grunde dasselbe, nämlich mechanische Energie seien. Auf diese Weise wurde das erzielt, was als das Dringendste erschien: ein unmittelbarer Anschluß an die herrschende mechanistische Naturauffassung; eine entscheidende Seite des neuen Gedankens aber ging dabei verloren.

Es hat eines halben Jahrhunderts bedurft, um die Einsicht reifen zu lassen, daß diese hypothetische Zutat zu dem Energiegesetz keine Vertiefung der Einsicht war, sondern ein Verzicht auf ihre bedeutsamste Seite: ihre Freiheit von jeder willkürlichen Hypothese. Und auch nicht die Erkenntnis dieses methodischen Umstandes, sondern das schließliche Mißlingen aller Versuche, die übrigen Energieformen befriedigend mechanisch zu deuten, ist für den gegenwärtigen Fortschritt, soweit er zurzeit überhaupt zur Geltung gelangt ist, der entscheidende Grund zum Aufgeben der mechanischen Deutung gewesen.

Sie werden aber ungeduldig sein, hochgeehrte Versammlung, zu erfahren, wie es denn möglich sein soll, mittelst eines solchen abstrakten Begriffes, wie es die Energie ist, eine Weltanschauung zu gestalten, die an Klarheit und Anschaulichkeit mit der mechanischen verglichen werden kann. Die Antwort soll mir nicht schwer fallen. Was erfahren wir denn von der physischen Welt? Offenbar nur das, was uns unsere Sinneswerkzeuge davon zukommen lassen. Welches ist aber die Bedingung, damit eines dieser Werkzeuge sich betätigt? Wir mögen die Sache wenden, wie wir wollen, wir finden nichts Gemeinsames, als das: Die Sinneswerkzeuge reagieren auf Energieunterschiede zwischen ihnen und der Umgebung. In einer Welt, deren Temperatur überall die unseres Körpers wäre, würden wir auf keine Weise etwas von der Wärme erfahren können, ebenso wie wir keinerlei Empfindung von dem konstanten Atmosphärendrucke haben, unter dem wir leben; erst wenn wir Räume anderen Druckes herstellen, gelangen wir zu seiner Kenntnis.

Gut; dies werden Sie zuzugeben bereit sein. Aber Sie werden nicht auf die Materie daneben verzichten wollen, denn die Energie muß doch einen Träger haben. Ich aber frage dagegen, warum? Wenn alles, was wir von der Außenwelt erfahren, deren Energieverhältnisse sind, welchen Grund haben wir, in eben dieser Außenwelt etwas anzunehmen, wovon wir nie etwas erfahren haben? Ja, hat man mir geantwortet, die Energie ist doch nur etwas Gedachtes, ein Abstraktum, während die Materie das Wirkliche ist! Ich erwidere: Umgekehrt! Die Materie ist ein Gedankending, das wir uns, ziemlich unvollkommen, konstruiert haben, um das Dauernde im Wechsel der Erscheinungen darzustellen. Nun wir zu begreifen anfangen, daß das Wirkliche, d. h. das, was auf uns wirkt, nur die Energie ist, haben wir zu prüfen, in welchem Verhältnis die beiden Begriffe stehen, und das Ergebnis ist unzweifelhaft, daß das Prädikat der Realität nur der Energie zugesprochen werden kann.

Diese entscheidende Seite der neuen Anschauung tritt vielleicht deutlicher hervor, wenn ich die hier vorliegende Begriffsbildung Ihnen in kürzestem geschichtlichen Abriß vorführe. Wir haben bereits gesehen, daß der Fortschhitt der Wissenschaft sich in der Auffindung immer allgemeinerer Invarianten kennzeichnet, und ich habe auch darauf hingewiesen, wie die erste dieser unveränderlichen Größen, die Masse, sich zur Materie, d. h. der mit Volumen, Gewicht und chemischen Eigenschaften ausgestatteten Masse, erweitert hat. Doch war offenbar von vornherein dieser Begriff nicht genügend, um die Erscheinungen in ihrer unaufhörlichen Veränderlichkeit zu decken, und man fügte seit Galilei den der Kraft hinzu, um dieser Seite der Welt gerecht zu werden. Doch ging der Kraft die Eigenschaft der Unveränderlichkeit ab, und nachdem in der Mechanik in der lebendigen Kraft und der Arbeitsgröße Funktionen aufgefunden worden waren, welche sich als partielle Invarianten auswiesen, entdeckte Mayer in der Energie die

allgemeinste Invariante, welche das ganze Gebiet der physischen Kräfte beherrscht.

Dieser geschichtlichen Entwicklung gemäß blieben Materie und Energie nebeneinander bestehen, und alles, was man von ihrem gegenseitigen Verhältnis zu sagen wußte, war, daß sie meist miteinander vorkommen, oder daß die Materie der Träger oder das Gefäß der Energie sei.

Sind denn nun aber Materie und Energie wirklich etwas voneinander Verschiedenes, wie etwa Körper und Seele? Oder ist nicht vielmehr das, war wir von der Materie wissen und aussagen, schon in dem Begriff der Energie enthalten, so daß wir mit dieser einen Größe die Gesamtheit der Erscheinungen darstellen können? Nach meiner Überzeugung kann die Antwort nicht zweifelhaft sein. Was in dem Begriff der Materie steckt, ist erstens die Masse, d. h. die Kapazität für Bewegungsenergie, ferner die Raumerfüllung oder die Volumenenergie, weiter das Gewicht oder die in der allgemeinen Schwere zu tage tretende besondere Art von Lagenenergie, und endlich die chemischen Eigenschaften, d. h. die chemische Energie. Es handelt sich immer nur um Energie, und denken wir uns deren verschiedene Arten von der Materie fort, so bleibt n i c h t s übrig, nicht einmal der Raum, den sie einnahm, denn auch dieser ist nur durch den Energieaufwand kenntlich, welcher erforderlich ist, um in ihn einzudringen. Somit ist die Materie nichts, als eine räumlich zusammengeordnete Gruppe verschiedener Energien, und alles, was wir von ihr aussagen wollen, sagen wir nur von diesen Energien aus.

Was ich hier darzulegen mich bemühe, ist so wichtig, daß Sie mir verzeihen werden, wenn ich der Sache noch von einer anderen Seite näherzukommen suche. Gestatten Sie mir, hochgeehrte Versammlung, dafür das drastischste Beispiel zu nehmen, das ich eben finden kann. Denken Sie sich, Sie bekämen einen Schlag mit einem Stocke! Was fühlen Sie dann, den Stock oder seine Energie? Die Antwort kann nur eine

sein: die Energie. Denn der Stock ist das harmloseste Ding von der Welt, solange er nicht geschwungen wird. Aber wir können uns auch an einem ruhenden Stocke stoßen! Ganz richtig: was wir empfinden, sind, wie schon betont, Unterschiede der Energiezustände gegen unsere Sinnesapparate, und daher ist es gleichgültig, ob sich der Stock gegen uns oder wir uns gegen den Stock bewegen. Haben aber beide gleiche und gleichgerichtete Geschwindigkeit, so existiert der Stock für unser Gefühl nicht mehr, denn er kann nicht mit uns in Berührung kommen und einen Energieaustausch bewerkstelligen.

Diese Darlegungen zeigen, wie ich hoffe, daß in der Tat alles, was man bisher mit Hilfe der Begriffe Stoff und Kraft darzustellen vermochte, und noch viel mehr, sich mittelst des Energiebegriffes darstellen läßt; es handelt sich nur um eine Übertragung von Eigenschaften und Gesetzen, die man jenen zugeschrieben hatte, auf diese. Ferner aber erlangen wir den sehr großen Gewinn, daß die Widersprüche, welche jener Auffassungsweise anhafteten, und auf welche ich in dem ersten Teile meiner Darlegungen hingewiesen habe, hier nicht auftreten. Indem wir keinerlei Voraussetzung über den Zusammenhang der verschiedenen Energiearten untereinander machen, als den durch das Erhaltungsgesetz gegebenen, gewinnen wir die Freiheit, die verschiedenen Eigenschaften objektiv zu studieren, welche diesen verschiedenen Arten zukommen, und können dann durch die rationelle Betrachtung und Ordnung dieser Eigenschaften ein System der Energiearten aufstellen, welches uns genau die Ähnlichkeiten, wie die Unterschiede derselben erkennen läßt und uns daher wissenschaftlich viel weiter führt, als die Verwischung dieser Unterschiede durch die hypothetische Annahme ihrer „inneren“ Gleichheit es tun kann. Ein gutes Beispiel für das, was ich hier andeuten will, finden wir in der kinetischen Hypothese über den Gaszustand, die sich gegenwärtig noch etner ziemlich allgemeinen Anerkennung erfreut. Nach dieser entsteht der Druck eines Gases

durch die Stöße seiner bewegten Teilchen. Nun ist ein Druck eine Größe, welche keine räumliche Richtung besitzt: ein Gas drückt nach allen Richtungen gleich stark; ein Stoß rührt aber von einem bewegten Dinge her, und diese Bewegung besitzt eine bestimmte Richtung. Somit kann eine dieser Größen gar nicht unmittelbar auf die andere zurückgeführt werden. Die kinetische Hypothese umgeht diese Schwierigkeit, indem sie künstlich die dem Stoße zukommende Richtungseigenschaft wieder hinausschafft durch die Annahme, die Stöße erfolgten nach allen Richtungen gleichförmig ohne Unterschied. In diesem Falle gelingt die künstliche Anpassung der Eigenschaften der verschiedenen Energien; in anderen ist sie aber nicht vollkommen möglich. So sind z. B. die Faktoren der elektrischen Energie, die Spannung und die Elektrizitätsmenge, Größen, welche ich polare zu nennen vorschlagen möchte; d. h. sie werden durch einen Zahlenwert nicht allein gekennzeichnet, sondern besitzen auch ein Zeichen, dergestallt, daß zwei gleiche Größen entgegengesetzten Zeichens sich zu Null addieren und nicht zum doppelten Wert. In der Mechanik sind solche rein polare Größen nicht bekannt: dies ist der Grund, warum es nicht gelingen will, eine auch nur einigermaßen durchführbare mechanische Hypothese für die elektrischen Erscheinungen zu finden. Sollte sich eine mechanische Größe mit Polaritätseigenschaften aufstellen lassen — was vielleicht nicht unmöglich und jedenfalls einer eingehenden Untersuchung wert ist —, so hätten wir auch das Material, um wenigstens einige Seiten der Elektrik mechanisch zu „veranschaulichen". Freilich läßt sich auch hier mit Sicherheit sagen, daß es sich nur um einige Seiten handeln wird, und daß die ausnahmelose Unvollkommenheit aller mechanischen Hypothesen sich auch hier zeigen und die vollständige Durchführbarkeit des Bildes verhindern wird.

Wenn nun aber auch wirklich sich die Gesetze der Naturerscheinungen auf die Gesetze der entsprechenden Energiearten

zurückführen lassen, welchen Vorteil haben wir davon? Zunächst den sehr erheblichen, daß eine hypothesenfreie Naturwissenschaft möglich wird. Wir fragen nicht mehr nach den Kräften, die wir nicht nachweisen können, zwischen den Atomen, die wir nicht beobachten können, sondern wir fragen, wenn wir einen Vorgang beurteilen wollen, nach der Art und Menge der aus- und eintretenden Energien. Die können wir messen, und alles, was zu wissen nötig ist, läßt sich in dieser Gestalt ausdrücken. Welch ein enormer methodischer Vorzug dies ist, wird jedem klar werden, dessen wissenschaftliches Gewissen unter der unaufhörlichen Verquickung zwischen Tatsachen und Hypothesen gelitten hat, welche die gegenwärtige Physik und Chemie uns als rationelle Wissenschaft darbietet. Die Energetik ist der Weg, auf welchem die so vielfach mißverstandene Forderung Kirchhoffs, die sogenannte Naturerklärung durch die Beschreibung der Erscheinungen zu ersetzen, ihrem richtigen Sinne nach erfüllt werden kann. Mit dieser Voraussetzungslosigkeit der energetischen Wissenschaft ist gleichzeitig eine methodische Einheitlichkeit verbunden, die, wie ohne Zögern gesagt werden darf, bisher noch nie erreicht war. Auf die philosophische Bedeutung dieses einheitlichen Prinzips in der Auffassung der natürlichen Erscheinungen habe ich bereits hingewiesen; es liegt in der Natur der Sache, darf aber doch wohl auch noch besonders ausgesprochen werden, daß durch diese philosophische Vereinheitlichung auch ganz ungemein große Vorteile bezüglich des Lehrens und Verstehens der Wissenschaft sich ergeben. Um nur ein Beispiel anzuführen, so können wir behaupten, daß alle Gleichungen ohne Ausnahme, welche zwei oder mehr verschiedene Arten von Erscheinungen aufeinander beziehen, notwendig Gleichungen zwischen Energiegrößen sein müssen; andere sind überhaupt nicht möglich. Dies ist eine Folge davon, daß neben den Anschauungsformen Raum und Zeit die Energie die einzige Größe ist, welche den verschiedenen Gebieten, und zwar allen ohne Ausnahme, ge-

meinsam ist: man kann also zwischen verschiedenen Gebieten überhaupt nichts anderes einander gleichsetzen, als die in Frage kommenden Energiegrößen.

Ich muß mir leider versagen, hier darauf einzugehen, wie dadurch gleichzeitig eine Unzahl von Beziehungen, die zum Teil schon bekannt waren, zum Teil neu sind, unmittelbar hingeschrieben werden können, während man früher sie durch mehr oder weniger umständliche Rechnungen ableiten mußte. Ebensowenig kann ich Ihnen die neuen Seiten auseinandersetzen, welche die schon früher, wenn auch nicht so vollständig, bekannten anderen Sätze der Thermodynamik, des ausgedehndesten Teils der Energetik, im Lichte der allgemeinen energetischen Betrachtungen gezeigt haben. Alle diese Dinge müssen ja so sein, wenn das, was ich Ihnen vorher über die Bedeudeutung der neuen Anschauungsweise gesagt habe, begründet gewesen sein soll. Hierauf brauche ich nicht wieder zurückzukommen. (51)

Aber eine schließliche Frage möchte ich aufzuwerfen nicht unterlassen. Wenn es einmal gelingt, eine bedeutende und fruchtbringende Wahrheit in ihrer ganzen schlichten Größe zu erfassen, so ist man nur zu leicht geneigt, in ihrem Kreise auch gleich alles beschlossen zu sehen, was überhaupt in dem Gebiete in Frage kommt. Diesen Fehler sieht man täglich in der Wissenschaft begehen, und die Meinung, deren Bekämpfung ich die Hälfte der mir zugebilligten Zeit gewidmet hatte, ist ja gerade aus einem solchen Irrtume entstanden. Wir werden uns also alsbald zu fragen haben: Ist die Energie, so notwendig und nützlich sie auch zum Verständnis der Natur ist, auch zureichend für diesen Zweck? Oder gibt es Erscheinungen, welche durch die bisher bekannten Gesetze der Energie nicht vollständig dargestellt werden können?

Hochgeehrte Versammlung! Ich glaube der Verantwortlichkeit, die ich heute durch meine Darlegungen Ihnen gegenüber eingenommen habe, nicht besser gerecht werden zu können,

als wenn ich hervorhebe, daß diese Frage mit Nein zu beantworten ist. So immens die Vorzüge sind, welche die energetische Weltauffassung vor der mechanistischen oder materialistischen hat, so lassen sich schon jetzt, wie mir scheint, einige Punkte bezeichnen, welche durch die bekannten Hauptsätze der Energetik nicht gedeckt werden, und welche daher auf das Vorhandensein von Prinzipien hinweisen, die über diese hinausgehen. Die Energetik wird neben diesen neuen Sätzen bestehen bleiben. Nur wird sie künftig nicht, wie wir sie noch heute ansehen müssen, das umfassendste Prinzip für die Bewältigung der natürlichen Erscheinungen sein, sondern wird voraussichtlich als ein besonderer Fall noch allgemeinerer Verhältnisse erscheinen, von deren Form wir zurzeit allerdings kaum eine Ahnung haben können. (52)

Hochgeehrte Versammlung! Ich fürchte nicht, durch das, was ich eben gesagt habe, den Wert des geistigen Fortschrittes, von dem vorher die Rede war, herabgesetzt zu haben; ich meine, ich habe ihn etwas erhöht. Denn wieder einmal ist es uns entgegengetreten, daß die Wissenschaft nie und nirgends eine Grenze des Fortschrittes anerkennen kann und darf, und daß mitten unter den Kämpfen um einen neuen Besitz das Auge nicht blind dafür werden soll, daß hinter dem Boden, dessen Eroberung es eben gilt, noch weite Flächen sich dehnen, die später einmal auch genommen werden müssen. Der früheren Zeit mochte es hingehen, wenn der Staub und Rauch des Kampfes ihr den Blick in die engen Grenzen des Kampfes gebannt hielt. Heute ist das nicht mehr gestattet; heute schießen wir mit rauchlosem Pulver — oder sollten es wenigstens tun — und haben daher mit der Möglichkeit auch die Pflicht, nicht den Fehlern früherer Epochen zu verfallen.

4

DAS PROBLEM DER ZEIT

(Rede, gehalten bei der Eröffnung des neuerbauten Physikalisch-chemischen Instituts der Universität Leipzig am 3. Januar 1898.)

Hochansehnliche Versammlung!

Obwohl wir uns am heutigen Tage hier vereinigt haben, die Feier eines wichtigen sachlichen Ereignisses für die Entwicklung der allgemeinen und physikalischen Chemie zu begehen, so hat doch inzwischen sich eine persönliche Wendung dabei geltend gemacht. Wenn ich mich durch diese Wendung auch auf das höchste geehrt und erfreut fühlen muß, so liegt mir doch daran, und ich bin sicher, dabei auch in Ihrem Sinne zu handeln, daß der allgemeine Charakter unserer Feier nicht verloren geht. Denn der heutige Tag verdankt seinen ganzen Inhalt den wissenschaftlichen Verhältnissen, die er zum Ausdruck gebracht hat, und wie könnte ich ihn würdiger feiern, als indem ich Sie bitte, mit mir die Hallen der reinen Wissenschaft zu betreten, zu deren Pflege auch dieses Haus erbaut worden ist.

Da der heute versammelte Kreis, wie ich mit besonderem Danke hervorhebe, nicht ausschließlich aus Vertretern meines engeren Wissensgebietes zusammengesetzt ist, so ist damit für den Gegenstand unserer Betrachtungen das Feld in ganz be-

stimmter Weise beschränkt. Die hierin liegende Schwierigkeit läßt sich überwinden, wenn auch nur auf einem Wege, der von allen möglichen wieder der schwierigste ist: indem ich mich den allgemeinsten Fragen meines besonderen Gebietes zuwende, kann ich hoffen, auch die Teilnahme weiterer Kreise in Anspruch nehmen zu dürfen.

Betrachtungen solchen allgemeinen Charakters sind heute auch in den messenden oder exakten Wissenschaften nicht so selten mehr, wie sie es noch vor einem Jahrzehnt waren. Nach der eben vorübergehenden Periode der Sonderung bis in das Einzelste beginnt eben die Wissenschaft überall sich darauf zu besinnen, daß gewisse Aufgaben, und zwar überaus wichtige, nur durch gemeinsame Arbeit gelöst werden können. Auf die Zeit der Vereinzelung und Spezialisierung folgt, wie ich das schon vor zehn Jahren gelegentlich meiner hiesigen Antrittsvorlesung hervorgehoben habe, mit Notwendigkeit eine Zeit, wo wieder das Gemeinsame der verschiedenen Gebiete in den Vordergrund tritt, und von allen Organismen ist vielleicht der der Wissenschaft am meisten mit der Gabe ausgestattet, durch den regelmäßigen Entwicklungsvorgang schädliche und einseitige Wachstümer wieder zurückzubilden und die Gesundheit und das Gleichgewicht der Gesamtorganisation auf selbstregulatorischem Wege aufrecht zu erhalten.

Von solchem Gesichtspunkte werden Sie es nicht allzu gewagt finden, wenn ich hiermit versuche, aus dem Erfahrungsgebiet der allgemeinen Chemie einen Beitrag zur Lösung eines Problems beizubringen, dessen Behandlung bisher allein der abstrakten Philosophie zuzustehen schien: ich meine des Problems der Zeit.

Wir wissen, daß alles Geschehen zeitlich ist. Was ist nun mit diesem Worte gesagt?

Noch ein so großer Geist, wie Newton, sah die Zeit als etwas objektiv bestehendes an, und seine Principia enthalten Auseinandersetzungen über den Unterschied zwischen der ab-

soluten und der empirischen Zeit, von denen die zweite in der ersten enthalten sein sollte. Kant, der in vielen seiner Gedanken entscheidend durch Newton beeinflußt worden ist, hat gerade an diesem Punkte seinen größten Fortschritt vollbracht, indem er die subjektive Beschaffenheit der Zeit (und des Raumes) ausgesprochen hat. Er kam zu dem Ergebnisse, daß diese beiden Formen der Anschauung sind, die zwar vor aller Erfahrung gegeben, weil dem menschlichen Geiste angeboren seien, die aber erst an und in der Erfahrung zum Bewußtsein kommen und einen Inhalt gewinnen.

Es ist bekannt, und ich brauche es hier nicht darzulegen, daß dieser Gedanke Kants, der uns jetzt als seine größte Tat erscheint, zunächst verhältnismäßig geringen Einfluß äußerte. Für die Naturwissenschaften war er bis zur Mitte unseres Jahrhunderts so gut wie nicht vorhanden. Erst die Entwicklung der experimentellen Sinnesphysiologie hat hier den Umschwung hervorgerufen. Hier trat die subjektive Beschaffenheit der von den Sinnesapparaten überlieferten Eindrücke so unwiderstehlich zu tage, daß der Kantische Gedanke sich entwickeln mußte, und von hier aus hat er dann allmählich seinen Siegeslauf über die gesamten Naturwissenschaften angetreten.

Diese Entwicklung brachte freilich wieder mit Notwendigkeit mit sich, daß der Gedanke selbst in erheblichster Weise abgeändert wurde. Es ließ sich Kants Ansicht über die von aller Erfahrung unabhängige, weil vor aller Erfahrung gegebene Beschaffenheit der Anschauungsformen nicht aufrecht erhalten. Erst schüchtern, dann immer energischer machten sich die Nachweise empirischer Bestandteile in der Raumanschauung geltend. Es ist bekannt, wie vielen Widerspruch Helmholtz mit seiner Behauptung erfuhr, daß auch die Geometrie in letzter Linie eine Erfahrungswissenschaft ist, die sich, kurz gesagt, von der Physik oder der Biologie nur durch die unverhältnismäßig viel größere Häufigkeit und Einfachheit der grundlegenden Erfahrungstatsachen unterscheidet.

Wie so häufig, war hier das Problem zuerst von der schwierigeren Seite aus in Angriff genommen worden. Wenn empirische Elemente in den Raumbegriff eingehen, so muß dies auch von der Zeit erwartet werden können; bei dieser sind aber die Verhältnisse erheblich einfacher und es erscheint daher leichter, hier zu gesicherten Ergebnissen zu gelangen. Diese Untersuchung ist es, für die ich Ihre Zeit in Anspruch nehmen möchte, da ich glaube, daß sich hier die Analyse etwas weiter führen läßt, als es bisher geschehen ist.

Um zunächst eine Vorstellung davon zu geben, was der Gegenstand der Untersuchung ist, möchte ich einen Gedanken des großen Biologen Karl Ernst von Baer in meiner Weise ausführen. Wir schreiben der Zeit einen „an sich" gleichförmigen Verlauf zu. Dies geschieht auf Grund der Tatsache, daß sie eigentlich mit einer doppelten Periode behaftet ist, der des Tages und der des Jahres. Der Umstand, daß diese beiden objektiv gegebenen Perioden unabhängig voneinander verlaufen, hat uns die Erkenntnis vermittelt, daß diese Periodizität überhaupt nichts für die Zeit an sich wesentliches ist. Versetzen wir uns nun aber — da es sich um eine Veranschaulichung und nicht um einen Beweis handelt, dürfen wir es tun — in die Seele eines denkenden Maikäfers hinein. Dessen Zeit zählt nur nach Wochen, und für ihn gehört, da er gar keine gegenteiligen Erfahrungen machen kann, die Tagesperiode zu den untrennbaren Eigenschaften der Zeit. Wieder anders würde eine Eintagsfliege die Zeit auffassen: sie erscheint für diese nicht periodisch, sondern einseitig veränderlich, wenn sie sich bei ihrem Tode am Abend die Gesamtheit ihrer Erfahrungen vergegenwärtigt. Für ein Bakterium mit 15 Minuten Lebensdauer fällt gegebenenfalls auch diese Veränderlichkeit fort, und so könnten wir noch eine Anzahl weiterer Zeitbegriffe uns konstruieren, welche je nach den physiologischen Bedingungen des empfindenden Wesens ganz verschiedene Beschaffenheit besäßen. Der Rückschluß ist offenbar: auch wir

Menschen haben kein Recht, unseren Zeitbegriff für einen vollständigen oder feststehenden zu halten, sondern müssen seine Beeinflußung durch die physiologischen Bedingungen unserer Existenz zugeben.

Sind wir so weit, so werden wir alsbald nach den Bestandteilen unseres Zeitbegriffes fragen können; bevor wir indessen hierauf näher eingehen, möchte ich noch eine Vorfrage erledigen.

Als was haben wir die Zeit aufzufassen? Eine objektive Existenz in dem Maße, wie die der Erde, oder dieses Tisches können wir ihr nicht zuschreiben. Die Kantische Bezeichnung als einer Anschauungsform hat den Nachteil für uns, daß sie die Zeit neben dem Raume als isolierte Größe hinstellt, deren Zusammenhang mit anderen nicht ersichtlich ist, und auch nach Kant nicht ersichtlich gemacht werden soll. Ich möchte den Standpunkt, den ich für den angemessensten halte, dadurch kennzeichnen, daß ich die Zeit als das allgemeinste Naturgesetz bezeichne. Naturgesetze nennen wir gewisse Erscheinungsanalogien, die sich bei einer größeren oder geringeren Summe einzelner Tatsachen wiederfinden, und die uns somit gestatten, den Inhalt dieser Tatsachen zusammenzufassen und geistig zu beherrschen. Die Naturgesetze haben demgemäß die Eigentümlichkeit, daß sie die unendliche Mannigfaltigkeit der Möglichkeit auf den einzelnen Fall oder die einzelnen Fälle der Wirklichkeit zu reduzieren gestatten, oder, mathematisch gesprochen, den Unendlichkeitsgrad der Möglichkeiten um eine oder mehrere Potenzen herabsetzen, und ihre Bedeutung ist um so größer, je zahlreicher und mannigfaltiger die Erscheinungen sind, auf welche diese Reduktion Anwendung findet.

Kann denn nun die Zeit in solchem Sinne ein Naturgesetz genannt werden? Das heißt: drückt der Zeitbegriff Beziehungen aus, die sich bei irgend welchen verschiedenen Erscheinungen wiederholen, und welche wir uns auch anders denken könnten? Die Antwort scheint mir durch die vorher angestellten Betrach-

tungen über die Gestaltung des Zeitbegriffes in verschiedenen Organismen bereits gegeben zu sein; sie muß bejahend lauten.

Wir wollen nun zur Analyse des Zeitbegriffes übergehen und seine Elemente zu isolieren versuchen. Was finden wir darin?

Zunächst die Stetigkeit. Wir haben alle die Empfindung, daß die Zeit regelmäßig und ununterbrochen abläuft, daß es mit anderen Worten keine zeitlosen Anteile zwischen verschiedenen Zeitstücken gibt. Kaum eine Überzeugung sitzt fester in unserem Bewußtsein, und dennoch handelt es sich hier um eine Operation, die man in der Physik nicht immer ohne Bedenken ansieht, nämlich um eine Interpolation. Während des Schlafes und der anderen Zustände der Bewußtlosigkeit haben wir keine Zeitempfindung, und rein erfahrungsmäßig müßten wir eine Unterbrechbarkeit der Zeit annehmen, wenn wir feststellen, daß nach dem Ablaufe eines solchen Zustandes unser Zeitbewußtsein wieder beginnt. Die Erfahrung, daß von uns unabhängige Vorgänge sich während dieses für uns zeitlosen Zwischenraumes ungestört weiter abgespielt haben, veranlaßt uns zu der Annahme, daß die erlebte Unterbrechung unserer Zeitempfindung nur eine scheinbare war, und daß tatsächlich die Zeit ununterbrochen verlaufen war. Wie bekannt, hat sich die Zweckmäßigkeit dieser Annahme immer bewährt; wir haben keine Ursache, sie fallen zu lassen, müssen aber zugestehen, daß die Vorstellung von der Stetigkeit des Zeitverlaufes auf einem Induktionsschluß oder einer Übereinkunft mit nachfolgender erfahrungsmäßiger Bestätigung ihrer Zweckmäßigkeit beruht, und somit vor ähnlichen Schlüssen, wie sie zu den gewöhnlichen Naturgesetzen führen, nichts voraus hat.

Eine zweite Eigenschaft der Zeit ist ihre lineare Beschaffenheit. Dies Wort ist ein Bild, und soll besagen, daß die Zeit eine stetige Größe von solcher Beschaffenheit ist, daß man von jedem bestimmten Werte nach einem anderen Werte nur auf eine Weise gelangen kann. Die Bezeichnung der Zeit als einer eindimensionalen Mannigfaltigkeit drückt dasselbe Ver-

hältnis mittels des gleichen Bildes aus; die eben gegebene Definition scheint mir die voraussetzungsloseste zu sein.

Von dieser Eigenschaft der Zeit wüßte ich keine empirischen Ausnahmen, die durch Interpolation ergänzt werden, zu nennen.

Eine dritte Eigenschaft will ich die Eindeutigkeit der Zeit nennen. Es soll damit gesagt werden, daß die Zeit während ihres Verlaufes niemals auf einen Punkt oder Wert zurückgelangt, auf dem sie sich bereits einmal befunden hat. In dieser Beziehung unterscheiden sich die Eigentümlichkeiten der Zeit von denen einer Linie, mit der sie nach anderer Seite Ähnlichkeit hat, denn eine Linie kann leicht so gezogen werden, daß ein Punkt mehrmals vorkommt, oder daß sie sich selbst schneidet; die Zeit schneidet sich selbst nie.

Bei diesem Gesetz handelt es sich gleichfalls, wie mir scheint, um eine Art Interpolation, und zwar in solchem Sinne, daß wir uns nicht immer der wesentlichen Verschiedenheit eines bestimmten Zeitgebietes von einem anderen bewußt sind. Sitzen wir beispielsweise am Ufer des Meeres und lassen das Schauspiel der heranbrandenden Wogen auf uns wirken, so beginnen wir bald die Fähigkeit zu verlieren, die einzelnen Fälle dieser sich regelmäßig wiederholenden Erscheinung als individuell zu unterscheiden, und haben den Eindruck, als wiederhole sich die gleiche Zeiterscheinung immer wieder von neuem. Aus der Tatsache, daß andere Erscheinungen, die nicht periodisch sind, oder die eine wesentlich andere Periode haben, wie z. B. der Sonnenstand, während dieser Empfindungen sich stetig geändert haben, schließen wir, daß es sich auch bei jenen wiederkehrenden Empfindungen um einen eindeutigen Verlauf in dem eben definierten Sinne gehandelt hat, und eine genauere Beobachtung läßt uns diese Deutung nicht nur als möglich, sondern als notwendig erkennen. Denn tatsächlich ist es möglich, in allen derartigen periodischen oder wiederkehrenden Erscheinungen individuelle Eigentümlichkeiten jedes einzelnen Falles nachzuweisen.

Viertens ist der Verlauf der Zeit einsinnig. Mit diesem Worte will ich die Tatsache bezeichnen, daß zwei Zeitpunkte nicht nur durch ihren Abstand unterschieden sind, sondern auch durch ihre Folge, derart, daß man den einen dieser Zeitpunkte als früher, den anderen als später bezeichnet. Dieses Verhältnis ist absolut, und man kann es nicht umwechseln, man kann auf keine Weise eine einmal gegebene Zeitfolge tatsächlich umkehren.

Was hiermit gemeint ist, wird vielleicht wieder an einem räumlichen Bilde deutlicher. Habe ich zwei Punkte, so kann ich für sie auch eindeutig einen bestimmten Abstand angeben, wie bei zwei Zeitpunkten; in den räumlichen Beziehungen liegt aber nichts, was mich zwingt, noch einen Unterschied der Reihenfolge zwischen den beiden Punkten anzunehmen. Erst wenn ich noch einen dritten Punkt in die Betrachtung einbeziehe, kann ich einen solchen Unterschied angeben, indem im allgemeinen der eine näher an diesem ist, als der andere. Bei der Zeit ist aber der erwähnte Unterschied bereits vorhanden, wenn nur zwei Punkte gegeben sind, denn schon an zweien kann man ein Früher und Später unterscheiden.

Fragt man nach den Ursachen, durch welche wir der Zeit diese vier Eigenschaften zuzuteilen uns veranlaßt sehen, so findet man sehr verschiedenartige Quellen. Die Stetigkeit ist eine sehr allgemeine Voraussetzung für unser Denkvermögen und hängt eng mit dem Ich-Begriff zusammen; wir wollen auf diesen Punkt nicht eingehen. Ebenso dürfte die lineare Beschaffenheit der Zeit auf psycho-physische Quellen zurückführbar sein. Deshalb finden wir auch bei den weitgehendsten wissenschaftlichen Abstraktionen diese beiden Eigenschaften der Zeit immer gewahrt. Nicht so ist es mit den beiden anderen. Gerade in dem entwickeltsten, weil abstraktesten Gebiete der Physik, in der Mechanik, bedient man sich von jeher eines Zeitbegriffes, dem die beiden letzteren Eigenschaften nicht zukommen. Die Zeit der abstrakten oder reinen Mechanik ist

eine gewöhnliche lineare Größe; zwischen zwei Zeitpunkten gibt es nur einen meßbaren Abstand, aber keinen sonstigen wesentlichen Unterschied, es kann jeder von ihnen beliebig als der frühere oder spätere gelten. Ebenso ist es ganz unwesentlich für die Mechanik, daß unsere empirische Zeit sich als eindeutig darstellt; in den periodischen Bewegungen haben wir Vorgänge, welche sich für verschiedene, äquidistante Zeitpunkte als vollkommen übereinstimmend darstellen, für die es also unendlich viele Werte der Zeit gibt, bei denen alle anderen Veränderlichen genau dieselben Werte annehmen, so daß dieser Zeit unendlich viele Überschneidungen in gleichen Abständen zukommen.

Unsere gewohnte Methode der Zeitmessung gibt uns eine gute Anschauung von dieser Art Zeit: an der Uhr wiederholen sich alle zwölf Stunden genau dieselben Stellungen, und wenn wir nur nach diesen urteilen wollten, so würden wir der Zeit kein stetiges Fortschreiten zuschreiben, sondern sagen, daß sie sich alle zwölf Stunden wiederholt. Das Gleiche gilt für die Weltenuhr, die Achsendrehung der Erde und ihren Umschwung um die Sonne: für jede dieser Bewegungen finden wir eine genaue Wiederholung, und wenn wir auch aus theoretischen Gründen annehmen, daß diese Bewegungen nicht ganz genau periodisch sind, so handelt es sich hier doch nur um Schlüsse, die an den tatsächlichen Beobachtungen noch keine unzweideutige Bestätigung erfahren haben.

Was eben dargelegt worden ist, gilt für die Bewegungen im Sinne der abstrakten Mechanik, und für die astronomischen Vorgänge, die solchen Vorgängen erfahrungsgemäß ganz nahe kommen. Alle irdischen Bewegungen zeigen dagegen einen charakteristischen einsinnigen Verlauf in der Zeit, und zwar in solchem Sinne, daß sie zuletzt immer abnehmen und aufhören. Für die irdischen Bewegungen gibt es also einen wesentlichen Unterschied zwischen Anfang und Ende, zwischen früher und später. Welcher neue Umstand tritt hier auf, der diesen Unterschied hervorbringt?

Nun, wir wissen alle, daß die Reibung jeden bewegten Körper schließlich zur Ruhe kommen läßt. Auch in der Mechanik zeigt sich bei der Berücksichtigung der Reibung ein wesentlich neuer Umstand. Während in der abstrakten Mechanik, die auf die Reibung keine Rücksicht nimmt, die Zeit nur im Quadrat erscheint, und also in ihrer ersten Potenz beliebig positiv oder negativ angenommen werden kann, tritt mit der Reibung die Zeit in ungerader Potenz in den Gleichungen auf, und läßt einen wesentlichen Unterschied zwischen positiver und negativer Zeit, d. h. zwischen fortschreitender und rückwärts gerechneter Zeit erkennen.

Der hieraus zu ziehende Schluß, daß durch die Tatsache der Reibung unser Zeitbegriff den so überaus charakteristischen einsinnigen Inhalt bekommt, sieht einigermaßen wunderlich aus. Man möchte einer so zufälligen Erscheinung, wie der Reibung, einen so fundamentalen Einfluß nicht zugestehen. In der Tat würde dieser Schluß, wenn auch nicht falsch, so doch unvollständig sein. Es sind noch andere Quellen für dies selbe Element des Zeitbegriffes vorhanden; sie gehören aber zu derselben Klasse von Erscheinungen wie die Reibung, und man bezeichnet sie allgemein als Dissipations- oder Zerstreuungsvorgänge. Hierzu gehört die Wärmeleitung, der elektrische Widerstand, die magnetische Hysteresis, die chemische Reaktionsgeschwindigkeit und noch manches andere.*

Alle diese Erscheinungen haben eine doppelte Beziehung zur Zeit. Einmal geben sie ihr den erwähnten einsinnigen Charakter; dann aber sind sie alle neue und unabhängige Quellen des Zeitbegriffes selber.

Vergegenwärtigen wir uns die oben erwähnten Mittel der Zeitmessung, so beruhen sie auf den Eigenschaften der Bewegungsenergie; sie sind ein Ergebnis der beiden Grundgesetze

* Die Grundlagen dieser Gedankenreihe sind in Gesprächen entstanden, welche ich mit Th. Des Coudres geführt habe, dem ein wesentlicher Anteil daran zukommt.

von der Erhaltung der Energie und der Masse. Außer den hierauf beruhenden Mitteln der Zeitmessung haben wir aber noch andere, die allerdings heute kaum mehr im Gebrauch sind, aber doch früher praktisch waren. So lesen wir, daß Karl der Große die Stunden der Nacht nach der Länge seiner brennenden Kerze maß; er machte also die (ganz berechtigte) Voraussetzung, daß in gleichen Zeiten gleiche Stücke der Kerze herunterbrennen würden. Dieser Vorgang hat gar nichts mit jenem kinetischen Mittel der Zeitmessung zu tun; vielmehr beruht Karls des Großen Kerzenuhr auf dem chemischen Satze, daß unter konstanten Umständen die Geschwindigkeit einer chemischen Reaktion konstant bleibt, d. h. die hier chemisch gemessene Zeit der kinetisch gemessenen proportional ist.

Ebenso könnten wir auf jeden der anderen genannten dissipativen Vorgänge einen Zeitmesser gründen, wenn auch vielleicht auf manchen von ihnen nur schwierig. Jedesmal würde die so erhaltene Zeit der kinetischen proportional sein, daneben aber den wesentlichen Charakter der Einsinnigkeit besitzen. Diese Proportionalität wird durch eine Reihe wichtiger Naturgesetze ausgedrückt, unter denen das Ohmsche Gesetz der Elektrizitätsleitung eines der bestbekannten Beispiele ist.

In den dissipativen Vorgängen haben wir somit eine neue und wichtige Quelle des Zeitbegriffes, durch welche einige von ihren charakteristischsten Eigentümlichkeiten erst bedingt werden. Nennen wir diese Zeit im Gegensatze zur mechanischen Zeit die dissipative, so werden wir außer dem Unterschiede, daß nur in der letzteren die Einsinnigkeit erscheint, noch einen zweiten wesentlichen Unterschied nachweisen können. Die mechanische Zeit ist ihrer Größe nach einwertig; haben wir die in Betracht kommenden Elemente des Raumes, der Masse und der Energie bestimmt, so ergibt sich für die Zeit ein ganz bestimmter Wert, unabhängig von der sonstigen Beschaffenheit der Masse. Diese Unabhängigkeit findet sich bei der dissipativen Zeit nicht wieder; jede Bestimmung

der Zeit mittels eines solchen Vorganges ergibt eine neue Einheit, die von der Beschaffenheit des zur Bestimmung dienenden Körpers abhängt. Um dies deutlicher zu machen, denken wir uns beispielsweise die Zeit durch die Menge eines elektrischen Stromes gemessen, der durch einen gegebenen Leiter fließt. Wenn wir alle räumlichen Abmessungen des Leiters unverändert lassen, ihn aber seiner chemischen Natur nach ändern, so erhalten wir eine andere Strommenge; ersetzen wir einen kupfernen Draht durch einen ganz gleichgeformten aus Eisen, so wird alsbald die galvanisch gemessene Zeiteinheit rund achtmal größer im Verhältnis zu einer anderweit gemessenen Zeit, weil wir sagen, daß das Eisen einen achtmal größeren Widerstand hat, als das Kupfer. Oder um auf unser früheres Beispiel zurückzukommen: wenn Karl der Große an Stelle seines Wachslichtes eines aus Stearin oder aus Paraffin benutzt hätte, so wäre auch bei ganz gleicher Form der Kerze seine Zeiteinheit eine andere geworden, und der chemische Einfluß auf die Zeitmessung wäre auch hier ersichtlich gewesen.

Man darf diese Erörterungen nicht als unwesentlich ansehen. Denn wenn Sie sich dessen erinnern, was über die Auffassung der Zeit durch verschieden organisierte Lebewesen gesagt worden war, so werden Sie im Lichte der jetzigen Betrachtungen dessen inne werden, daß jene großen Unterschiede auf den eben betrachteten Umstand zurückzuführen sind: weil die chemischen Vorgänge, mit denen das Leben verknüpft ist, bei diesen verschiedenen Organismen mit wesentlich verschiedener Geschwindigkeit verlaufen, erhalten sie ein ganz verschiedenes individuelles (dissipatives) Zeitmaß, demzufolge die entsprechende Zeit, gemessen an der als konstant angesehenen mechanischen Zeit von Fall zu Fall wesentlich verschieden erscheint.

Und nun, nachdem vielleicht mancher von Ihnen bereits ungeduldig gefragt hat, was denn diese Erörterungen mit der physikalischen Chemie zu tun haben, stehen wir mitten in ihr darin. Die Frage nach der Geschwindigkeit chemischer Vor-

gänge ist eine Hauptfrage dieser Disziplin, und wir sehen, daß ihre Beantwortung nicht nur ein Kapitel der Wissenschaft vervollständigen, sondern Licht auf die allerfundamentalsten Fragen der Psychologie und somit der Philosophie werfen wird.

Was nun die Gesetze anlangt, die für die Geschwindigkeit chemischer Reaktionen gelten, so ist das grundlegende unter ihnen bereits vor mehr als hundert Jahren von dem sächsischen Chemiker Wenzel ausgesprochen worden. Es lautet dahin, daß unter sonst gleichen Umständen die Geschwindigkeit der Konzentration des wirkenden Stoffes proportional ist. Die spätere Forschung hat im wesentlichen die Aufgabe gehabt, die verschiedenen Anwendungsformen dieses Gesetzes zu ermitteln; es ist von der Erfahrung im weitesten Umfange bestätigt worden.

Als man indessen auf Grund dieses Gesetzes die Verhältnisse verschiedener chemischer Vorgänge genauer untersuchte, da ergab sich, daß neben der Natur der wirkenden Stoffe, ihrer Konzentration und der Temperatur, von welchen Größen ihr Einfluß auf die Reaktionsgeschwindigkeit bekannt war, noch andere Umstände sich wirksam zeigten, deren Wirkungsweise von allen bekannten Verhältnissen verschieden war. Es wurde beobachtet, daß, wenn eine bestimmte Reaktion unter bestimmten Umständen mit bestimmter Geschwindigkeit vor sich ging, die Gegenwart außerordentlich kleiner Mengen fremder Stoffe, d. h. solcher, die sich an der Reaktion nicht in ersichtlicher Weise beteiligen, dieses Tempo im höchsten Maße zu ändern vermag.

Daraus ergibt sich eine ganz besondere Mannigfaltigkeit des Zeitmaßes, wie es sich aus chemischen Vorgängen ableiten läßt. Während eine Wärme- oder Elektrizitätsleitung, eine Diffusion oder ein ähnlicher dissipativer Vorgang im allgemeinen durch die Gegenwart geringer Mengen fremder Stoffe nur in entsprechend geringem Grade beeinflußt wird, haben wir es hier mit ganz unverhältnismäßig großen Einflüssen zu tun, denen außerdem noch ein ganz individueller Charakter zu-

kommt. Denn ein Stoff, welcher das Zeitmaß irgend einer bestimmten chemischen Reaktion in höchstem Maße beeinflußt, erweist sich oft anderen Reaktionen gegenüber als ganz unwirksam, und umgekehrt.

Die Tatsachen, welche dieser Darstellung zu grunde liegen, sind zum Teil lange bekannt; der erstuntersuchte derartige Prozeß, die Umwandlung der Stärke in Zucker durch Kochen mit verdünnten Säuren, der von Kirchhoff in Petersburg beobachtet worden ist, wurde vor mehr als hundert Jahren bekannt gemacht. Seitdem hat die Zahl ähnlicher Fälle sehr zugenommen. Auch zu ihrer wissenschaftlichen Bewältigung wurde bereits in der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts durch Eilhard Mitscherlich und Jacob Berzelius ein Versuch gemacht. Doch fand dieser Versuch keinen Boden; es wurde zwar einiges Wichtige dieser Erscheinungsgruppe hervorgehoben und durch den Namen der katalytischen Erscheinungen zusammengefaßt, doch fehlte es an der sachgemäßen Auffassung dieser Erscheinungen als Änderungen der Reaktionsgeschwindigkeit. Dieser letzte Schritt ist erst vor wenigen Jahren getan worden, und ich stehe nicht an, ihn als den Anfang für die systematische Bearbeitung des ganzen großen und wichtigen Gebietes zu bezeichnen. (53)

Um Ihnen die Tatsachen, die wir erörtern, anschaulich zu machen, habe ich einige Versuche vorbereitet, die Ihnen den Einfluß solcher katalytischer Beschleuniger und Verzögerer vor Augen führen.

Hier habe ich eine verdünnte (etwa $^1/_{100}$-norm.) Lösung von Jodkalium, die mit einer äquivalenten Menge Kaliumbromat und Essigsäure versetzt wird. Aus einem solchen Gemisch scheidet sich freies Jod, das durch etwas Stärke sichtbar gemacht wird, nur sehr langsam ab, so daß es, nachdem die beginnende Bläuung durch eine Spur einer ebenso verdünnten Lösung von Natriumthiosulfat beseitigt ist, mehrere Minuten lang farblos bleibt. Setzt man nun einen an einem Glasstabe

hängenden Tropfen verdünnter Kaliumbichromatlösung zu, so bläut sich die Flüssigkeit in wenigen Augenblicken. Das ist nicht etwa eine Oxydationswirkung des Bichromats; denn nehmen wir die blaue Farbe der Jodstärke durch etwas Natriumthiosulfat weg, so läßt sich an der blaßgelben Farbe der Lösung erkennen, daß das Kaliumbichromat gar nicht reduziert worden ist, sondern sich unverändert erhalten hat.

Noch auffälliger wird der Versuch, wenn wir eine Spur Eisenvitriollösung zufügen. Dieser Stoff kann gar nicht oxydierend wirken, er ist im Gegenteil ein kräftiges Reduktionsmittel, und dennoch beschleunigt er gleichfalls in kleinsten Mengen den Vorgang. Die Jodkalium-Bromatlösung färbt sich wieder in wenigen Augenblicken nach dem Umrühren mit einem in Eisenvitriollösung getauchten Glasstabe tiefblau.

Lernen wir hier Beschleunigungen durch kleinste Mengen zugesetzter Stoffe kennen, so können wir in anderen Fällen Verzögerungen hervorrufen. Eine verdünnte Lösung von Natriumthiosulfat wird, wie bekannt, auf Zusatz von Säuren nicht sofort trübe, sondern erst nach einiger Zeit. Setzt man zu einer von zwei gleichen Proben einer derartigen Lösung etwas schweflige Säure, so tritt die Trübung hier erst viel später ein. Allerdings handelt es sich in diesem Falle wahrscheinlich nicht um eine Katalyse im eigentlichen Sinne, sondern um eine Folge des Massenwirkungsgesetzes, doch sind andere, zur Demonstration allerdings weniger geeignete Vorgänge bekannt, welche unzweifelhafte Verzögerungskatalysen darstellen. (54)

Wir haben somit in den Katalysatoren ein Mittel, das Zeitmaß chemischer Vorgänge mittels eines Minimums fremder Stoffe, theoretisch gesprochen, ohne jeden Arbeitsaufwand, um das tausend- und millionenfache zu beschleunigen oder zu verzögern. Was ein solches Mittel für den Organismus bedeutet, dessen gesamte Tätigkeit wesentlich auf der Regelung des Ablaufes gleichzeitiger Vorgänge beruht, kann ich hier nicht auszuführen versuchen. Ich möchte nur meine Überzeugung dahin

aussprechen, daß man die Wichtigkeit dieser Dinge für das organische Leben kaum überschätzen kann, wenn man sie auch noch so hoch anschlägt.

Aber es wird die Bedeutung des Gebietes vielleicht noch anschaulicher zeichnen, wenn ich Ihnen seine technische Anwendung nahelege. Um bei mechanischen Maschinen Geschwindigkeit zu gewinnen, muß man immer eine entsprechend größere Arbeit aufwenden: ein Schnellzug verbraucht viel mehr Kohlen, als ein gleich schwerer Lastzug, der dieselbe Strecke, nur mit geringerer Geschwindigkeit fährt. Ebenso verhält es sich mit anderen Formen der Arbeit; eine galvanische Kette wird um so vorteilhafter arbeiten, je geringer die Stromstärke ist, d. h. je langsamer man ihr die Arbeit entnimmt; will man in derselben Zeit mehr leisten, so muß man nicht nur entsprechend mehr Arbeit aus der Kette entnehmen, sondern sie muß darüber noch ein Plus liefern, welches nicht in Arbeit übergeht, sondern nur zur Überwindung des Widerstandes dient. Es wachsen mit anderen Worten die Widerstandsverluste bedeutend schneller in derselben Zeit, als die erhaltenen Arbeiten.

Wir müssen also in den anderen Gebieten der Technik Geschwindigkeit durch Energievernutzung erkaufen. Nur bei chemischen Vorgängen kommen wir um diese Notwendigkeit herum; hier genügt der Zusatz eines Katalysators, der durch den Vorgang selbst nicht verbraucht wird, um die Geschwindigkeit in weitgehendster Weise zu erhöhen. Hier bekommen wir also die wegen der Kapitalverzinsung so wesentliche Geschwindigkeit der technischen Prozesse geschenkt. Um zu sehen, was eine derartige Möglichkeit in der Technik für eine Bedeutung hat, braucht man sich nur zu denken, daß eine Fabrik ohne wesentlichen Mehraufwand an Maschinen oder Apparaten ihre Produktion vervielfachen, oder daß ein Eisenbahnzug mit derselben Kohlenmenge die mehrfache Geschwindigkeit erreichen könnte. Das würde ebenso wirken, wie die An-

wendung eines passenden Katalysators auf einen chemischen Betrieb tatsächlich wirken kann.

Es ist bemerkenswert genug, daß die Technik sich unbewußt seit längerer Zeit dieses Hilfsmittels bedient. Die wesentlichsten chemischen Gewerbe, vor allem Backen und Brauen, sodann aber auch die Schwefelsäurefabrikation, viele Gebiete der Färberei, Bleicherei und andere machen von katalytischen Vorgängen ausgedehnten Gebrauch. Nur geschieht dies zur Zeit bloß empirisch und häufig ohne alles Bewußtsein von der besonderen Rolle der Katalysatoren. Doch hat gerade in letzter Zeit auch die bewußte Anwendung katalytischer Vorgänge in der Technik begonnen, und zwar infolge von Anregungen, die aus den wissenschaftlichen Arbeiten unseres physikalisch-chemischen Instituts hervorgegangen sind. (55)

So werden Sie es verstehen, daß ich zur Zeit das Gebiet der katalytischen Erscheinungen für das halte, in welchem uns der nächste wesentliche Fortschritt der allgemeinen Chemie bevorsteht. Welche Gestalt dieser Fortschritt annehmen wird, läßt sich ungefähr absehen, doch muß ich mir versagen, dies ausführlicher darzulegen; ebensowenig darf ich von den im Gange befindlichen Versuchen reden, in das Gebiet messend einzudringen. Aber ich hoffe doch, Ihnen, den engen Zusammenhang näher gebracht zu haben, den die scheinbar verschiedenartigsten Fragen miteinander haben. Gerade die physikalische Chemie ist berufen, solche Zusammenhänge aufzudecken und zu verfolgen, und so sehen wir, daß diese neue Disziplin, weit entfernt, die vielbeklagte Zersplitterung der Wissenschaft noch weiter zu vermehren, gerade ein überaus wirksamer Faktor für ihre endliche Wiedervereinigung ist. In solchem Sinne habe ich versucht, das alte Institut zu leiten, und ich bin sicher, Ihre Billigung zu erfahren, wenn ich auch für das neue den gleichen Gesichtspunkt festhalte.

5

DIE PHILOSOPHISCHE BEDEUTUNG DER ENERGETIK

(Zuerst veröffentlicht in englischer Sprache in The International Quarterly, 1903.)

Alle Kultur beruht, wie bereits Hume betont hat, auf Voraussicht. Schon ein jedes Tier wird als um so entwickelter angesehen, je mehr es fähig ist, sein Verhalten in Rücksicht auf künftige Veränderungen einzurichten. Es sind zuerst die regelmäßigen periodischen Änderungen der Tages- und Jahreszeiten, welche ein zweckmäßiges Verhalten erfordern. Die Anpassung an diese ist eine so häufige Erscheinung, daß sie als selbstverständlich gilt; würde doch die Existenz des Einzelwesens wie des Geschlechtes gefährdet sein, wenn eine genügende Anpassung an unvermeidliche künftige Ereignisse nicht vorhanden wäre. Von ähnlicher Allgemeinheit ist die vorausgehende Fürsorge für die Erhaltung der Brut, die um so mehr vorhanden ist, je hilfloser einzelne Formen der Entwicklung uns erscheinen. Richtiger ist es wohl, den Satz umzukehren, und zu sagen: je günstiger sich die Existenzverhältnisse der Brut gestalten lassen, um so unentwickelter kann diese den mütterlichen Körper verlassen. Aber wie man diese Verhältnisse auch auffassen mag, eine Berücksichtigung kommender, noch nicht vorhandener Verhältnisse läßt sich auch hier als wesentlich erkennen. So überlegsam und zweckmäßig

nun auch ein solches Verhalten aussieht, so pflegen wir allerdings hier noch nicht von Kultur zu reden, da, soweit wir urteilen können, eine derartige, an gleichartig wiederholte, periodische Verhältnisse gebundene Zweckmäßigkeit ohne die Mitwirkung und daher auch ohne die Anwesenheit von Bewußtsein, Erinnerung und Wahl möglich und wirklich ist; wir nennen sie Instinkt.

Dagegen schreiben wir der Intelligenz und Kultur das zweckmäßige Verhalten eines Lebewesens solchen Verhältnissen gegenüber zu, welche unregelmäßig und zufällig eintreten. Hier hört der „Instinkt" auf, und als notwendige Voraussetzung der zweckmäßigen Reaktion muß die Fähigheit vorhanden sein, das bevorstehende Ereignis vorauszusehen, d. h. aus gegenwärtigen oder vergangenen Dingen künftige vorauszusagen.

Dies gilt nicht nur für die entwickelten Tiere und auch nicht nur für die einfacheren Handlungen der Menschen, sondern es findet seine unveränderte Anwendung in den höchsten Gebieten menschlischen Denkens und Wollens. Alle Wissenschaft, Kunst und Politik dreht sich um die Frage: Wenn eine bestimmte Konstellation von Dingen gegeben ist, was entsteht aus ihnen? Der Umfang und die Sicherheit, mit welchen ein Mann diese Frage beantworten kann, bestimmt das Maß der Entwicklung, welches er erreicht hat.

Für die Politik ist dies unmittelbar ersichtlich; daß es auch für die Kunst gilt, wird bei näherer Überlegung deutlich. Der Künstler muß, um ein Kunstwerk hervorzubringen, sich zuerst darüber klar geworden sein, welche Wirkung er hervorbringen will, und dann darüber, durch welche Mittel er diese Wirkung erzielen kann. Beides sind Fragen, die sich auf die Zukunft beziehen; wenn der Maler oder Dichter an sein Werk herantritt, weiß er nicht mehr davon, als er voraussehen kann, und er wird sein Ziel um so sicherer erreichen, je klarer und detaillierter seine Voraussicht ist.

Endlich die W i s s e n s c h a f t ist ganz und gar Voraussicht.

Dies tritt besonders deutlich hervor, wenn wir die geschichtliche Entwicklung der Wissenschaft verfolgen. Sie nimmt ihren Ausgang immer wieder aus der praktischen Aufgabe, die Folgen gegebener oder hervorgerufener Zustände oder Vorgänge vorauszusehen. Ob wir die Anfänge der Astronomie bei den Ägyptern betrachten, welche eine Vorausbestimmung der Überschwemmungsperioden des Nils bezwecken, oder die Anfänge der Medizin, welche die Kenntnis der Reaktionen zum Ziele hatten, welche bestimmte Eingriffe in dem menschlichen Körper hervorrufen würden — immer handelt es sich um die gleiche Aufgabe, aus dem Vorhandenen auf das Künftige zu schließen. Aus den ursprünglich sehr einfachen und eng begrenzten Regeln, welche die Erfahrung ergeben hatte, bildeten sich in stetiger Entwicklung weitere und weitere Zusammenfassungen aus, welche eine entsprechend größere Sicherheit und Allgemeinheit der Voraussagung ermöglichten.

Wir können dies Kriterium auch auf die heutige Wissenschaft anwenden, und dürfen sogar behaupten, daß es von allen das Sicherste und Umfassendste ist, um den Wert und die Bedeutung einer Wissenschaft zu kennzeichnen. Ebenso dient es, um den Grad der Entwicklung zu bestimmen, den eine gegebene Wissenschaft erreicht hat.

Es ist keinem Zweifel unterworfen, daß von allen Wissenschaften die Mathematik die entwickeltste ist. So sehen wir auch bei ihr die Voraussagung in einem Umfange und mit einer Sicherheit gehandhabt, welche unvergleichlich höher ist, als in allen anderen Wissenschaften. Daß wir, wenn wir drei gleiche Grade zu einem Dreieck zusammenfügen, auch in diesem Dreieck drei gleiche Winkel von je 60° vorfinden werden, ist eine Voraussagung, die unzählige Male geprüft und immer mit der Wirklichkeit übereinstimmend befunden worden ist. Wir sind durch diese ausnahmelose Bestätigung der Voraussagung geneigt, den erwähnten geometrischen Satz für eine absolute Wahrheit zu halten, während er doch nichts

als eine sehr allgemein bestätigte Erfahrungstatsache ist. Denn kein Geringerer als Helmholtz hat die Möglichkeit erwogen, daß etwa bei sehr großen oder sehr kleinen Dreiecken sich Abweichungen von diesem Gesetz finden könnten, und daß wir dessen Gültigkeit jedenfalls nicht über ein weiteres Gebiet hinaus behaupten dürfen, als die bisherige Erfahrung erforscht hat.

In dem Maße als wir in der Reihe: Physik, Chemie, Biologie, Psychologie fortschreiten, nimmt die Sicherheit und der Umfang der Voraussagung ab. Daß ein elektrischer Strom, den wir durch metallische Leiter führen, eine Stärke annehmen wird, welche der elektromotorischen Kraft direkt und dem Widerstande umgekehrt proportional ist, ist eine Voraussagung, die zwar in sehr vielen Fällen zutrifft, aber doch nicht in allen. Wenn der Leiter aus verschiedenen Metallen besteht, so beobachten wir eine geringere Stromstärke, als sie durch dieses Gesetz (das Gesetz von Ohm) vorausgesagt wird. Wir schreiben die Abweichung der Entstehung thermoelektrischer Kräfte an den Berührungsstellen den verschiedenen Metallen zu und können, wenn uns die hier auftretenden Gesetze und Konstanten bekannt sind, auch die auftretenden Abweichungen voraussagen. Aber auch, wenn Selbstinduktion, Magnetisierung u. dergl. im Stromkreise vorhanden sind, treten Abweichungen ein, und so ist die Sicherheit der Voraussagung in diesem Gebiete viel geringer, als in dem der Mathematik und Geometrie.

Noch geringer wird diese Sicherheit in den anderen, oben genannten Wissenschaften. Daß diese Stufenfolge vorhanden ist, hat seine sehr natürlichen Ursachen in der zunehmenden Verwicklung der Verhältnisse, auf welche sich unsere Voraussagungen beziehen sollen. Die Winkel eines Dreieckes sind erfahrungsgemäß die gleichen, ob wir das Dreieck auf Papier, Marmor oder Stahl zeichnen oder sonst irgendwie herstellen; die elektrische Leitfähigkeit dagegen ändert sich mit der Form und Natur des Stoffes, der Temperatur, dem Drucke und noch

anderen Faktoren. Darum können wir über die Dreieckswinkel viel leichter und sicherer Voraussagungen machen, als über die Leitfähigkeit für den elektrischen Strom. Was für Stoffe entstehen, wenn wir gewisse Materialien zusammenbringen, ist eine Frage, deren Beantwortung die Chemie übernimmt. Wir können diese Frage nur in gewissen und sehr einfachen Fällen und nur mit einem sehr begrenzten Grade von Genauigkeit beantworten, denn die Zahl der in der Chemie möglichen Kombinationen, deren Erfolge verschieden sind, übertrifft noch bei weitem die in der Physik möglichen, und deshalb ist unsere erfahrungsgemäße Kenntnis hier viel weniger weit und tief entwickelt. Dies gilt in zunehmendem Maße von Biologie und Psychologie.

Dem aufmerksamen Leser werden vielleicht schon jetzt einige Einwendungen gegen diese Bestimmung der Wissenschaften eingefallen sein. Es gibt große Gebiete wissenschaftlicher Arbeit, die sich im Gegensatze zu dem Gesagten nicht mit der Vorausbestimmung der Zukunft, sondern mit der Ermittlung der Vergangenheit zu beschäftigen scheinen; es sind dies die historischen Wissenschaften im weitesten Umfange. Sollen alle diese aus dem Kreise der wahren Wissenschaften ausgeschlossen werden?

Die Antwort, welche ich auf diese Frage geben möchte, ist die folgende: Die historischen Fächer sind soweit Wissenschaften, als sie das Ziel haben, aus der Kenntnis der Vergangenheit die Bestimmung der Zukunft zu ermöglichen. In dem Maße, als sie dies Ziel aus dem Auge verlieren, verzichten sie auf die Stellung einer Wissenschaft.

In der Tat liegt eine derartige Auffassung bewußt oder unbewußt unseren geschichtlichen Studien überall zu grunde. Daß Staatsmänner und Politiker, die sich aus der Gestaltung der Zukunft einen unmittelbaren Beruf machen, meist mit Eifer Geschichte studieren zu dem ausgesprochenen Zwecke, Anhaltspunkte für ihre eigene Tätigkeit zu gewinnen, ist eine viel-

bezeugte Tatsache. Aber auch das rein wissenschaftliche Studium der Geschichte, und wenn es auch auf dem von Ranke ausgesprochenen Standpunkte des reinen Beobachtens zu stehen scheint, läßt sich auf gleiche Grundgedanken zurückführen. Denn eine geschichtliche Tatsache ist erst vollständig beobachtet und beschrieben, wenn die psychologischen Faktoren, welche die betrachteten Vorgänge beeinflußt haben, klar erkannt sind. Dieses psychologische Verständnis beruht aber seinerseits auf der Kenntnis gewisser allgemeiner Gesetze einer „Kollektivpsychologie", d. h. einer Psychologie der Massen und erfolgt in folgender Form: Kenne ich die dem Ereignis vorangegangenen Zustände und kenne ich die psychologischen Eigenschaften der beteiligten Menschengruppen, so kann ich den Ablauf des Ereignisses voraussagen, und nur soweit diese Möglichkeit geht, kann man von einem Verständnis einer geschichtlichen Tatsache reden.

Am weitesten von dieser Einsicht entfernt erscheinen die Vertreter der sogenannten klassischen Studien, die sich mit der Beschreibung und Untersuchung der einzelnen Erscheinungen des griechischen und römischen Altertums beschäftigen. Denn von diesen kann man meist die Meinung hören, daß ein solcher Zustand menschlicher Vollkommenheit, wie er von jenen Völkern erreicht wurde, den heutigen ganz unerreichbar sei, und daß wir uns begnügen müßten, in frommer Bewunderung möglichst viel von dem Wesen jener herrlichen Vergangenheit zu erfahren. Aber die gleichen Männer bestreben sich auf das eifrigste, diese Kenntnis (wenn auch zwangsweise) einem möglichst großen Kreise von Schülern zuzuführen, d. h. sie suchen durch diese Kenntnis die künftige Entwicklung derselben zu beeinflussen, und wenn sie auch im allgemeinen die Hoffnungslosigkeit des Bestrebens betonen, jene Vorbilder zu erreichen, so haben sie doch wohl alle, wenigstens in bezug auf ihre eigene Person, die Überzeugung, daß einige erhebliche Fortschritte auf diesem Wege nicht unmöglich sind oder waren.

So werden wir für unsere weiteren Untersuchungen das Prinzip anwenden können, daß der Wert eines jeden wissenschaftlichen Fortschrittes nach dem Betrage der Voraussicht zu bemessen ist, den er ermöglicht.

Solche wissenschaftliche Fortschritte nehmen in ihrer entwickeltsten Form die Gestalt eines sogenannten Naturgesetzes an. Ein solches läßt sich immer auf den Ausdruck bringen: wenn gewisse Voraussetzungen gegeben sind, so tritt ein gewisser Erfolg ein. Ihre strengste und unzweideutigste Gestalt nehmen die Naturgesetze an, wenn sie sich mathematisch ausdrücken lassen, d. h. sich auf meßbare Größen beziehen. Wiewohl dies das Ziel ist, welchem sämtliche Wissenschaften zustreben, so ist es doch nur erst von den einfacheren Wissenschaften erreicht; man kann eben beobachten, wie die mathematische Gestaltung in der Chemie Platz greift, welcher vor wenig mehr als hundert Jahren noch Kant jede Möglichkeit dazu abstreiten wollte. In der Physiologie und Psychologie sind auch die ersten Anfänge dieser Entwicklung merkbar.

Welche Stellung nimmt nun die Philosophie diesen Bestrebungen gegenüber ein? Die Antwort ist, daß jede Philosophie der zusammenfassende Ausdruck der Wissenschaften ihrer Zeit ist, oder doch zu sein sich bestrebt. Die verschiedenen Philosophien unterscheiden sich nur durch die Verschiedenheit in der Beurteilung, Kenntnis und Anwendung derjenigen wissenschaftlichen Ergebnisse, welche sie berücksichtigen und auf denen sie sich aufbauen. Dabei entsteht eine weitere Mannigfaltigkeit dadurch, daß nach dem unglückseligen Vorgange der griechischen Philosophen in den Kreis der Philosophie nicht nur dasjenige aufgenommen wird, was innerhalb der Gebiete der einzelnen Wissenschaften (ob richtig oder unrichtig) ermittelt worden ist, sondern daß die meisten Philosophen sich für verpflichtet erachten, die Lücken unserer (oder ihrer) Kenntnisse dadurch auszufüllen, daß sie angeben, wie diese unbekannten Dinge ihrer Überzeugung gemäß beschaffen sein müssen, um

sich einem vernünftigen Weltbilde, d. h. ihrem philosophischen System, einzufügen. Man nennt dies Gebiet, die Lehre von den Dingen, die wir nicht wissen, bekanntlich Metaphysik, und für viele Philosophen ist in der Tat ihre Metaphysik viel charakteristischer und wesentlicher, als ihre Physik.

Leider darf nicht verschwiegen werden, daß auch in den Gebieten der einzelnen Wissenschaften sehr viel Metaphysik getrieben wird. Diese übt hier ihren schädlichen Einfluß um so ungestörter aus, als sie meist für wirkliche Physik angesehen wird. Die Lehre vom Lichtäther in der Physik und von den Atomen in der Chemie sind Beispiele solcher Metaphysik.

Hieraus ist ersichtlich, wie außerordentlich schwer die Aufstellung einer guten Philosophie ist. Nicht nur die eigene metaphysische Neigung, die in jedem von uns durch die während der Erziehung aufgenommene Metaphysik hervorgerufen wird und später nur durch überaus strenge Selbstzucht im Zaume gehalten oder beseitigt werden kann, stellt sich hier als Hindernis ein, sondern das beste Baumaterial, das sich der Philosoph verschaffen kann, die Ergebnisse der Einzelwissenschaften, kann möglicherweise schon metaphysisch infiziert sein. Dann bildet es nicht nur selbst einen unsicheren Teil des Gebäudes, sondern es kann seine Infektion auch auf die anderen Teile übertragen, und das ganze Gebäude über kurz oder lang zum Zusammenstürzen bringen. Ein Beispiel für diesen letzteren Vorgang bildet die materialistische Philosophie, welche in der zweiten Hälfte des neunzehnten Jahrhunderts geherrscht hat, und welches auch jetzt nach ihrem wissenschaftlichen Zusammenbruche noch viele Anhänger zählt, die von diesem Zusammenbruche noch nichts erfahren haben. Hier steckt der metaphysische Schaden in dem Satze, daß alles natürliche Geschehen aus mechanischen Vorgängen bestehe. Dieser Satz hat seit der glänzenden Entwicklung der Mechanik und Astronomie am Ende des achtzehnten Jahrhunderts als wissenschaftliche Tatsache gegolten und erst langsam hat man entdeckt, daß er nichts ist als eine Ver-

mutung, die in der weitaus überwiegenden Mehrzahl der vorhandenen Fälle nicht geprüft, geschweige denn bewiesen oder nur wahrscheinlich gemacht worden ist. Man kann es daher den Philosophen der darauf folgenden Zeit nicht verdenken, daß sie ihre Systeme auf diesen Satz bauten; andererseits muß man allerdings bereit sein, mit dem Satze auch die von ihm abhängige Philosophie fallen zu lassen.

Wenn wir also an die Aufgabe gehen, eine unserer Zeit gemäße Philosophie zu entwickeln, so müssen wir es mit dem Bewußtsein tun, daß wir möglicherweise ähnliche Fehler begehen, wie unsere Vorgänger, und daß unsere Philosophie sich nach einem Jahrhundert oder in noch kürzerer Zeit ebenso vergänglich erweisen wird, wie z. B. der Materialismus. Man könnte fragen, warum wir denn überhaupt eine so unnütze Arbeit tun wollen. Die Antwort ist, daß das, was vergänglich ist, darum doch nicht unnütz ist. Die Kleider, welche wir tragen, die Nahrung, welche wir genießen, die geistigen Fähigkeiten, die wir ausbilden, sind alle vergänglich, aber nicht unnütz. Daß wir an Stelle des unhaltbaren Materialismus eine bessere Philosophie zu setzen uns bemühen, beruht auf dem Umstande, daß wir vorher die materialistische Philosophie nach möglichst vielen Seiten und auf ihre Leistungsfähigkeit erprobt haben. Wir haben ihre Fehler kennen gelernt, und es ist nicht wahrscheinlich, daß wir bei einem neuen Versuch die gleichen Fehler begehen werden; wenigstens insofern kann unsere neuere Philosophie besser ausfallen, als die alte war.

Aber selbst wenn es gelingt, eine bessere Philosophie aufzustellen, wozu wird diese nützen? kann man weiter fragen. Die Antwort ist in den einleitenden Darlegungen gegeben: sie wird uns zur Voraussicht künftiger Ereignisse dienen und uns daher gestatten, unser Leben zweckmäßiger und vernünftiger einzurichten. Hier sehen wir auch, daß die Aussichtslosigkeit, eine ganz vollkommene und keiner Verbesserung mehr unterliegende Philosophie zu gewinnen, notwendig und kein un-

bedingter Nachteil ist. Denn die Zweckmäßigkeit und Angemessenheit der Einrichtung unseres Lebens hängt nicht allein vom Grade unserer Erkenntnis, sondern von der Beschaffenheit unserer Umgebung, sowohl der Menschen wie der Dinge, ab. Was vielleicht in ferner Zukunft das Angemessenste sein wird, ist leider heute wegen der Beschaffenheit dieser Umgebung noch unzweckmäßig, und wenn unsere heutige Philosophie das leisten soll, wozu sie da ist, so muß sie auf Grund der heute bestehenden Tatsachen aufgebaut sein, nicht auf Grund möglicher künftiger Verhältnisse.

Es gibt allerdings in der Erkenntnis und somit in der Philosophie Sätze, von denen wir annehmen, daß sie eine über alle Zeit hinausreichende Geltung haben; dies gilt beispielsweise von den logischen und den mathematischen Prinzipien; auch die allgemeinen Gesetze der Physik und der Chemie pflegt man in diese Gruppe zu zählen. Überlegt man aber, daß die Zeit noch nicht so weit hinter uns liegt, wo man auch die Beschaffenheit der Arten des Tier- und Pflanzenreiches für unabhängig von der Zeit hielt; überlegt man ferner, daß eines der Grundgesetze der Chemie, nämlich das Gesetz von der Erhaltung des Gewichtes bei chemischen Vorgängen ernsthaft bezweifelt worden ist (56), so wird man ein gewisses Bedenken empfinden, für irgend einen Satz die absolute Geltung in Anspruch zu nehmen. Denn alle unsere Überzeugung von der Gültigkeit eines Satzes gründet sich nur auf seine Übereinstimmung mit der Erfahrung, und da uns in keinem Punkte eine unbegrenzte Erfahrung zu Gebote steht, so haben wir auch kein Recht, für irgend einen Satz eine unbegrenzte Gültigkeit auszusprechen.

Wir kommen also zu dem Schlusse, daß wir uns bemühen müssen, eine möglichst angemessene Philosophie, den Kenntnissen unserer Zeit entsprechend, zu entwickeln, obwohl wir davon überzeugt sind, daß sie sich künftig in vielen Punkten als unzulänglich erweisen wird, denn wir brauchen sie zu

unserem Leben. Ebenso werden wir nicht auf das Essen verzichten, obwohl wir sicher nach wenigen Stunden wieder hungrig werden.

Sehen wir uns um, welche Begriffe der gegenwärtig verbreitetsten Philosophie zu grunde liegen, so finden wir, daß, so verschieden die Ansichten im Einzelnen auch sein mögen, sie doch fast ohne Ausnahme darin übereinkommen, daß Materie und Geist die beiden Grundbestandteile aller Wirklichkeit sind. Dieser Auffassung, deren Entwicklung sich durch die Philosophie der christlichen Kirchenväter bis auf Plato zurückverfolgen läßt, hat durch Descartes und Spinoza ihre dauernde Fassung erhalten. Denken und Ausdehnung sind die beiden fundamentalen Eigenschaften der Wesen; was denkt, ist Geist, was ausgedehnt ist, Materie. Der Mangel, welcher in dieser Darstellung liegt, daß nämlich die Veränderlichkeit alles Seienden zwar bezüglich des Denkens keiner weiteren Erklärung bedurfte (denn das Denken besteht ja selbst in Veränderungen), während andererseits im Begriffe der Ausdehnung eine Veränderlichkeit nicht enthalten ist, wurde dadurch ergänzt, das man alle Veränderung des Ausgedehnten oder der Materie auf Bewegung zurückführte. Wie man alsbald erkennt, hat diese weitere Auffassung bis auf unsere Tage die Majorität für sich.

Diese Auffassung ist offenbar aus der Ansicht entstanden, daß ein so großer Unterschied zwischen den geistigen und den körperlichen Vorgängen besteht, daß die Bildung eines Begriffes, der beide umfaßt, unausführbar erscheint und daher eigentlich gar nicht versucht wurde. Zwar hat insbesondere Spinoza die Einheit von Geist und Materie als Postulat aufgestellt, und durch die Äußerung, Denken und Ausdehnung seien nur zwei verschiedene Seiten desselben absoluten Seins, eine solche Einheit begrifflich herzustellen versucht. Aber über den Wunsch, diese Einheit herzustellen, ist er hierbei nicht hinausgelangt, denn wie diese beiden so verschiedenen Dinge

Seiten desselben Seins sein können, hat er nicht erklärt, sondern er hat sich mit Bildern und Vergleichen zu helfen versucht.

Nun könnte man ja immerhin auch die Möglichkeit zugeben, daß die uns bekannte Welt sich begrifflich nicht weiter auflösen läßt, und daß somit jene Reduktion ein zweckmäßiger Ausdruck unseres gesamten Wissens sei. Aber wir müssen immer wieder die Tatsache konstatieren, daß diese beiden Welten, die körperliche und die geistige, aufeinander wirken und sich in ihren Veränderungen gegenseitig beeinflußen. Sie müssen also irgendwelche bestimmte Beziehungen zueinander haben, und diese Tatsache ist durch die Philosophie von Descartes und Spinoza nur ungenügend zum Ausdruck gebracht. Denn wenn man nicht weiß, auf welche Weise und nach welchen Gesetzen die gegenseitige Einwirkung dieser beiden Welten aufeinander erfolgt, so kann man auch nicht voraussagen, welchen Einfluß irgend eine willkürliche oder unwillkürliche Änderung in der einen auf die andere haben wird. Dadurch aber wird Verzicht auf die Erkenntnis zahlloser Erscheinungen geleistet, die für die Gestaltung unseres Lebens von grundlegender Wichtigkeit sind.

So sehen wir denn auch alsbald die weitere philosophische Entwicklung mit nie ermüdendem Eifer immer wieder auf die Frage zurückkommen, wie denn eigentlich die Wechselwirkung zwischen Geist und Körper zu denken sei. Selbst ein so tiefer Denker wie Leibniz weiß sich nicht anders zu helfen, als durch die Annahme einer prästabilierten Harmonie zwischen den beiden, an sich voneinander völlig unabhängigen Welten. Und daß dies Problem bis auf den heutigen Tag noch nichts von seiner beunruhigenden Schärfe verloren hat, läßt ein Blick in die heutige philosophische Literatur alsbald erkennen, denn diese ist erfüllt von Versuchen, die Lehre vom psychophysischen Parallelismus (die nichts als eine wiederholte Aufstellung, nicht eine Lösung des alten Problems ist) in irgend eine verständliche und mit unseren anderen Denkformen verträgliche Gestalt zu bringen.

Die andauernde und stets wiederholte Erfahrung von der Erfolglosigkeit dieser Vereinigungsversuche hätte längst zu der Frage führen müssen, ob die unüberwindliche Schwierigkeit nicht vielleicht in der Art zu suchen ist, wie das Problem gestellt ist. In der Tat: werden in die Problemstellung Voraussetzungen aufgenommen, welche unrichtig oder unangemessen sind, so wird aller Scharfsinn nicht zu einer befriedigenden Antwort führen können. Wenn wir auf keine Weise die angemessene Vereinigung der beiden Begriffe Materie und Geist ausführen können, obwohl die den beiden Begriffen zu grunde liegenden Tatsachen uns stets und überall die enge Beziehung zwischen beiden erkennen lassen, so liegt der Verdacht nahe, daß jene beiden Begriffe selbst unzweckmäßig gebildet sind. Es darf vermutet werden, daß in ihnen Bestandteile außer acht gelassen, oder in sie Bestandteile aufgenommen worden sind, deren An- oder Abwesenheit für den Zweck notwendig gewesen wäre. Wir wollen beide Begriffe in solcher Richtung untersuchen, d. h. wir wollen feststellen, ob die Voraussichten, zu welchen die beide Begriffe Anlaß geben, mit der Erfahrung übereinstimmen und uns daher einen sicheren Schluß auf die Zukunft gestatten.

Was zunächst den Begriff der Materie anlangt, so ist er geschaffen worden, um die Tatsache zum Ausdruck zu bringen, daß wir zahllose Dinge in unserer Außenwelt kennen, denen wir keine geistige Beschaffenheit zuschreiben mögen, d. h. deren Verhalten und Wirkungsweise uns gar keine Ähnlichkeit mit denen empfindender, denkender und wollender Wesen zeigt. Dies sind vor allen Dingen die Erscheinungen der leblosen Welt, die physikalischen Erscheinungen im weitesten Sinne, eingeschlossen die chemischen einerseits, die astronomichen andererseits.

Fragen wir, ob durch den Begriff der Materie eine vollständige Darstellung dieses Erscheinungsgebietes erreicht worden ist, so müssen wir alsbald mit Nein antworten. Zwar Des-

cartes konnte glauben, dies Ziel erreicht zu haben. Denn da er alle physikalischen Erscheinungen auf Ausdehnung und Bewegung zurückzuführen zu können glaubte, so mußte sein Begriff der Materie, in den ausdrücklich diese beiden Eigenschaften aufgenommen worden waren, ihm als ausreichend erscheinen.

In der weiteren Entwicklung der Physik hat sich diese Annahme als Irrtum erwiesen. Beispielsweise steht die experimentell im weitesten Umfange nachgewiesene Unmöglichkeit, ein chemisches Element in ein anderes zu verwandeln, in so auffallendem Gegensatz zu der Leichtigkeit, mit welcher man jede Ausdehnung oder Form in jede andere, und ebenso jede Bewegung in jede andere verwandeln kann, daß es in der Tat bisher niemandem gelungen ist, eine plausible Erklärung jener experimentellen Tatsache auf Grund der mechanistischen Ansicht von Descartes zu geben. Vielmehr zwingt uns die Erfahrung, die Nichtumwandelbarkeit der chemischen Elemente anzuerkennen, und damit die Tatsache zuzugeben, daß es verschiedene Arten von „Materie" gibt, die sich nicht auf Form und Bewegung allein reduzieren lassen. (57)

Ferner hat die Physik uns mit Erscheinungen bekannt gemacht, welche, obwohl der unbelebten Welt angehörig, sich überhaupt nicht materiell auffassen lassen. Es sind dies insbesondere die Vorgänge, welche in die Gebiete des Lichtes, der Elektrizität und der Wärme gehören. Man hat bekanntlich anfangs versucht, durch die Annahme einer Lichtmaterie, eines elektrischen Fluidums und eines Wärmestoffes auch diese Dinge unter den Begriff der Materie zu bringen. Da aber die Eigenschaft der Form oder räumlichen Bestimmtheit sich an ihnen nicht nachweisen ließ, so hätte der Versuch von vornherein aufgegeben werden müssen. Tatsächlich hat erst der Umstand entscheidend gewirkt, daß diese Dinge sich auch frei von Schwere und Masse zeigten, welche Eigenschaften man sich inzwischen infolge der Entdeckungen Newtons

als an aller wahren Materie vorhanden anzunehmen gewöhnt hatte.

Infolge der gleichen, mit Galilei beginnenden Entwicklung trat der Begriff der Kraft in den Vordergrund und verdrängte den der Bewegung bei der Darstellung der mechanischen Erscheinungen. Dies geschah wiederum wegen des unverhältnismäßig größeren Betrages an Voraussicht, welcher durch ihn erreicht wurde. Schon Galilei hatte gezeigt, wie die Bewegungen schwerer Körper in der Nähe der Erdoberfläche sich mittelst dieses Begriffes in einigen sehr einfachen Formeln darstellen lassen, wenn man den Begriff der Kraft dazu verwendet, und Newton hatte durch einen weiteren, sehr einfachen Zusatz die Brauchbarkeit dieses Begriffes über das ganze Gebiet der astronomischen Körper und Bewegungen ausgedehnt.

Nachdem es gelungen war, auf solche Weise die Bewegungen der großen Sternenwelt unter einige wenige einfache Formeln zu bringen, die ihre Konstellation auf Jahre und Jahrhunderte voraus zu wissen erlaubten, lag eine Erweiterung dieser Formeln nahe in solchem Sinne, daß die gefundenen Gesetze gleiche Anwendung auch auf die Welt der Atome finden sollten. Seit dem Altertume war man an den Gedanken gewöhnt gewesen, daß alle Dinge aus kleinen Körperchen bestehen, deren Bewegung ihre Wirkungen bedingt; auch hatte ja Descartes den gleichen Gedanken in seiner Weise entwickelt. Nachdem nun die Gesetze der Bewegung für die Himmelskörper ermittelt worden waren, schien es einfach eine Frage der Anwendung, mittelst dieser Gesetze auch alle anderen physikalischen Erscheinungen zu erklären, zumal man von den Gestirnen außer ihren Bewegungen nicht viel wußte. So sehen wir denn auch schon Newton in seiner Optik allerlei physikalische und chemische Anwendungen seiner Begriffe versuchen, zum Teil in ausführlicher Gestalt, wie in der Optik, zum Teil in Gestalt von „Queries“ als Gegenstände künftiger Ausarbeitung.

Heute muß man anerkennen, daß die auf diesem Wege erzielten Ergebnisse bei weitem nicht den Erwartungen entsprachen. Die mechanistische Theorie der Lichterscheinungen von Newton ist allgemein verlassen, so bereitwillig man seine experimentelle und begriffliche Förderung des Problems anerkannt und angenommen hat. Und in der Chemie hat sich die Entwicklung der Grundbegriffe zu einer Theorie der chemischen Affinität erst vollzogen, nachdem man den Versuch aufgegeben hatte, diese auf eine Anziehung der Atome untereinander zurückzuführen, und an deren Stelle hypothesenfreie erfahrungsmäßige Begriffe, wie die der Konzentration und der Reaktionsgeschwindigkeit, gebildet hatte.

Fassen wir diese Entwicklung kurz zusammen, so ist das Begriffspaar Ausdehnung—Bewegung infolge der Entwicklung der Wissenschaft alsbald von dem Paare Stoff—Kraft verdrängt worden. Die Unzulänglichkeit aber, welche zu dieser Änderung Anlaß gegeben hatte, war hierdurch nur unvollkommen beseitigt. Ja, eigentlich war die Sache noch schlimmer geworden, denn zu dem einen unversöhnlichen Dualismus von Leib und Seele oder Materie und Geist kam nun der Dualismus Stoff und Kraft, der viel schwieriger zu vereinigen war, als der alte Dualismus Ausdehnung und Bewegung, welche doch wenigstens einen anschaulichen Zusammenhang besitzen. Denn in der Tat, in welchem Zusammenhange stehen Kraft und Stoff? Eine Unterordnung des einen Begriffes unter den anderen ist nicht möglich, weil jeder von ihnen Kennzeichen besitzt, die dem anderen fehlen. Sie einfach als unabhängig nebeneinander zu stellen, geht noch weniger an, denn die Erfahrung lehrt uns weder Stoff ohne Kraft noch Kraft ohne Stoff kennen.

Hieraus läßt sich bereits das Schicksal der alsbald eintretenden Versuche vermuten, den einen Begriff durch den anderen aufnehmen zu lassen. In der Theorie von Boskowich ist der Versuch gemacht worden, Kraft ohne Stoff zum Aufbau der Welt zu verwenden, indem die Kraft an Punkte gehängt

wurde, die außer ihrem Orte im Raume keine andere Eigenschaft besitzen sollten. Einen Erfolg hat diese Theorie, auch abgesehen von ihren logischen Schwierigkeiten, nicht gehabt. Ebensowenig erwies sich der entgegengesetzte Weg als auf die Dauer gangbar. In der kinetischen Molekularhypothese, deren Ausbau in den letzten dreißig Jahren mit so großen Hoffnungen begonnen wurde, hat man sich vergeblich bemüht, die Kräfte wieder durch Bewegungen zu ersetzen. Wenn man auch einen Teil der Erscheinungen einigermaßen auf solche Weise darstellen konnte, so blieben doch große Gebiete (z. B. das der Elektrizität) unzugänglich, nämlich alle die, in welchen der Begriff der Masse und des Gewichtes keine Rolle spielt.

So haben diese Begriffsbildungen: Ausdehnung — Bewegung und Stoff — Kraft, Stoff — Bewegung und Ausdehnung — Kraft immer wieder nicht den Zwecken entsprochen, für welche sie gebildet worden waren. Das Gleiche muß man von dem Begriff Seele oder Geist sagen. Er war geschaffen worden, um die besondere Beschaffenheit von Empfinden, Denken und Wollen den physikalischen gegenüber zum Ausdruck zu bringen. Diese trennende Wirkung hat er erreicht, darüber ist aber die ebenso notwendige Berücksichtigung der Zusammenhänge verloren gegangen. Der Schnitt war tiefer gegangen, als beabsichtigt worden war, und es wollte hernach nicht mehr gelingen, die beiden getrennten Teile wieder soweit zu vereinigen, als die Tatsachen es forderten. Und zwar stellte sich im Laufe der Zeit der Zusammenhang der beiden Gebiete immer enger und enger heraus, so daß die Unzweckmäßigkeit jener Trennung immer härter empfunden wurde.

Betrachtungen von der Art des Vorangegangenen pflegen nur angestellt zu werden, wenn ihr Autor ein Mittel zu wissen glaubt, durch welches er die Übelstände zu beseitigen gedenkt, deren Schädlichkeit er eben so eindringlich dargelegt hat. Auch liegt hier wirklich ein solcher Fall vor; ich glaube nachweisen zu können, daß ein Weg vorhanden ist, auf welchem die Un-

zulänglichkeiten und Schwierigkeiten der älteren Anschauungen vermieden werden können. Es gibt wirklich einen Begriff, der nicht nur die Kluft zwischen Kraft und Stoff, sondern auch den zwischen Geist und Materie überbrückt, und der in sich eine genügende Mannigfaltigkeit besitzt, um die Gesamtheit unserer Erfahrungen, der inneren wie der äußeren, zu umfassen.*

Dieser Begriff heißt Energie.

Es ist bekannt, wie der Begriff der Energie entstanden ist. Durch Mayer, Joule und Helmholtz ist nachgewiesen worden, daß es eine immaterielle, d. h. weder mit Gewicht noch mit Masse ausgestattete Größe gibt, welche quantitativ ebenso unveränderlich ist, wie die Masse und das Gewicht der materiellen Stoffe, und welche ebenso wie diese qualitative Umwandlungen aller Art erleiden kann. Während aber die Umwandelbarkeit der materiellen Dinge nicht unbegrenzt ist, vielmehr durch das chemische Gesetz von der Erhaltung der Elemente in sehr bestimmter Weise eingeschränkt wird, so kann jene andere Größe, die Energie, aus jeder ihrer Formen in jede andere übergeführt werden; ihre Umwandelbarkeit ist also unbegrenzt. Schon darin ist ein fundamentaler Vorzug dieses Begriffes gegenüber dem der Materie gegeben, da er hierdurch die Eigenschaft erhält, in einheitlicher Weise das ganze Gebiet der entsprechenden Erscheinungen zu umfassen.

Man wird zunächst die Sachlage bei der immateriellen Beschaffenheit der Energie so auffassen wollen, daß der Begriff der Energie an die Stelle des Kraftbegriffes gesetzt werden soll. Diese Meinung ist sehr verbreitet gewesen und wird

* Ich bin natürlich darauf gefaßt, daß im weiteren Verlaufe der Entwicklung auch meine Lösung des Problems auf Schwierigkeiten und Unzulänglichkeiten stoßen wird. Solche Hindernisse pflegen aber erst einzutreten, nachdem die brauchbaren Seiten der neuen Begriffsbildung erschöpft sind. Daß wir von diesem Zeitpunkte noch weit entfernt sind, bedarf keines Beweises, da eben erst die Anwendungen des neuen Begriffes auf die alten Aufgaben versucht worden ist und von einer Erschöpfung daher noch gar nicht die Rede sein kann.

auch noch jetzt die vorherrschende Ansicht sein. Schon hierin läge ein bedeutender Vorzug, denn während der Begriff der Kraft nur in der Mechanik einen exakten Sinn hat und auf die anderen Gebiete der Physik nur hypothetisch und entsprechend unsicher sich übertragen läßt, so findet infolge des Gesetzes der quantitativen Umwandlung der Energiebegriff überall seine bestimmte und genaue Anwendung.

Aber die Brauchbarkeit des Energiebegriffes geht tatsächlich viel weiter. Er vermag nicht nur für die Kraft einzutreten, sondern auch für die Materie. Um dies im einzelnen zu beweisen, wäre allerdings eine Wanderung durch das ganze Gebiet der Physik erforderlich. Dazu mangelt hier der Raum; auch ist es bereits an anderer Stelle* ausgeführt worden. Hier will ich versuchen, dasselbe auf kürzerem Wege zu erweisen.

Den Gegenstand der Physik bilden unmittelbar die Änderungen, welche in der äußeren Welt verlaufen (soweit sie zu unserer Kenntnis kommen). Nun läßt sich beweisen, daß jede Änderung und somit jeder Vorgang sich erschöpfend darstellen läßt durch die Angabe, welche Energien der Art und Menge nach sich zeitlich und räumlich umgewandelt haben. Insbesondere gilt dies auch für die Vorgänge, durch welche unsere Sinnesapparate betätigt werden; auch diese lassen sich ohne Rest auf Energieübergänge zwischen der Außenwelt und den Sinnesapparaten zurückführen. Somit besteht die ganze Summe der Erfahrungen, aus denen wir unsere Außenwelt aufbauen, in den erfahrenen Energieübergängen. Daraus folgt mit Notwendigkeit, daß der Energiebegriff auch ausreichend sein muß, um eben diese mit seiner Hilfe bewerkstelligte Erfahrung darzustellen. In der Tat hat der Versuch der Durchführung dieses Satzes ihn im einzelnen überall bestätigt. Der Energiebegriff ist nicht allein (neben dem von Raum und Zeit) überall ausreichend, sondern er ist bisher auch das einzige Mittel geblieben, eine hypothesenfreie Darstellung der Er-

* W. Ostwald, Vorlesungen über Naturphilosophie. Leipzig 1902.

fahrung zu ermöglichen, d. h. eine solche, bei welcher die in jedem einzelnen Gebiete erforderlichen speziellen Begriffe nur aus aufweisbaren bezw. meßbaren Bestandteilen oder Eigenschaften des vorliegenden Gebietes gebildet worden sind.

Insbesondere hat sich noch herausgestellt, daß die charakteristischen Eigentümlichkeiten der Materie, ihre Trägheit oder Masse und ihr Gewicht, sich als besondere Seiten oder Faktoren gewisser Energiearten, der Bewegungsenergie und der Distanzenergie erweisen. Mit Materie bezeichnen wir demgemäß nur die besonderen Energiekomplexe, in denen die genannten Energiearten enthalten sind. Das Gesetz von der Erhaltung der Masse und das Trägheitsgesetz oder das Gesetz von der Erhaltung des Schwerpunktes sind nur besondere Fälle eines viel allgemeineren Erhaltungsgesetzes, welches sich auf eine große Klasse von Faktoren der Energie (die Kapazitätsfaktoren) bezieht. Man darf daher das sogenannte Gesetz von der Erhaltung der Materie, welches richtiger das Gesetz von der Erhaltung der Masse, des Gewichtes und der Elemente genannt werden sollte, nicht auf gleiche Stufe mit dem Gesetz von der Erhaltung der Energie stellen. Dieses ist bei weitem das allgemeinere, und jene Gruppe von Gesetzen spielt neben dem Energiegesetz eine weit untergeordnetere Rolle. Daß so viele irdische Erscheinungen mit Schwere und Masse zusammenhängen, ist nur die Folge eines Selektionsvorganges, da die nicht mit Schwere oder Masse ausgestatteten Energiekomplexe sich nicht auf der Erdoberfläche aufhalten können, und daher auch nicht zu unserer Kenntnis gelangen.

Auf solche Weise, über welche Einzelheiten in dem genannten Buche nachzusehen sind, läßt sich der Dualismus zwischen Kraft und Stoff beseitigen, indem sie innerhalb eines beide umfassenden Begriffes verschwinden. Nun entsteht folgendes Problem. Substituieren wir in dem anderen Begriffspaare G e i s t — M a t e r i e das zweite Glied durch Energie, so entsteht das Paar G e i s t — E n e r g i e. In welchem Verhältnis

geladenen Konduktors bei der Verbindung mit der Erde vollständig, um sich im Schließungsdrahte in Wärme zu verwandeln.

Ob die psychische Energie als eine Energieart für sich wie Wärme oder kinetische Energie aufzufassen ist, oder ob sie nur eine besondere Erscheinungsform mehrerer kombinierter Energien ist, wie dies vom Schall bekannt und von dem Lichte wahrscheinlich ist, soll hier unentschieden bleiben; ich wüßte noch keine Gründe für oder wider die eine und die andere Ansicht anzuführen. Die Abwesenheit solcher Gründe ist ein Zeichen dafür, daß die Entscheidung im Umfange unserer gegenwärtigen Kenntnis ohne Einfluß auf die Hauptfrage ist.

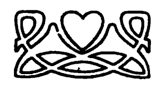
Diese Hauptfrage ist die, ob die Besonderheiten der psychischen Erscheinungen sich dem Begriffe der Energie einordnen lassen oder ob man, ähnlich wie in der Lehre vom psycho-physischen Parallelismus, die psychischen Erscheinungen als Begleiter der energetischen ansehen muß, die zwar immer gleichzeitig mit ihnen auftreten, von ihnen aber dem Wesen nach verschieden sind. Ich habe nichts finden können, was man gegen die erste Auffassung geltend machen könnte, als daß sie ungewohnt ist; dies ist natürlich kein sachlicher Grund.

Am schwierigsten erscheint es, die Tatsache des Selbstbewußtseins, das Ich oder die Persönlichkeit als eine energetische Erscheinung zu begreifen. Doch scheint mir diese Schwierigkeit dadurch vermindert zu werden, daß keineswegs alle psychischen Vorgänge innerhalb des Selbstbewußtseins verlaufen. Wir können so oft an den bewußt werdenden Folgen wahrnehmen, daß psychische Prozesse in unserem Nervensystem und Zentralorgan stattgefunden haben, deren Einzelheiten uns nicht ins Bewußtsein gekommen waren, daß wir gezwungen sind, die Möglichkeit unbewußter psychischer Vorgänge allgemein anzunehmen. Ist aber das Bewußtsein nicht einmal eine allgemeine Eigenschaft der psychischen Vorgänge, so liegt die Schwierigkeit, das Ich zu erklären, nicht bei der Frage nach der allgemeinen Auffassung der psychischen Er-

scheinungen, sondern innerhalb des speziellen Gebietes der Psychologie, abgesehen von dessen allgemeiner Auffassung.

Ich möchte nicht dahin mißverstanden werden, als halte ich die energetische Natur der psychischen Erscheinungen für völlig erwiesen. Um einen solchen Beweis zu führen, wäre es nötig, zu beweisen, daß beim Auftreten psychischer Energie eine entsprechende Menge einer anderen Energie (z. B. chemischer) verschwindet, ohne daß sich das Äquivalent derselben in anderer Gestalt nachweisen ließe. Andererseits müßte beim Verschwinden der psychischen Energie deren Äquivalent wieder auftreten (z. B. in Gestalt von Wärme). Bisher ist noch kein Versuch gemacht worden, welcher auf diese Frage unzweideutige Antwort gäbe. Auch sind die außerordentlich großen Schwierigkeiten solcher Versuche klar ersichtlich. Aber für unmöglich halte ich sie nicht, und so ist auch eine experimentelle Entscheidung dieses fundamentalen Problems innerhalb des Bereiches menschlicher Leistungsfähigkeit.

Bis eine solche Entscheidung getroffen wird, wird es aber jedenfalls zweckmäßig sein, den Gedanken von der energetischen Natur der psychischen Vorgänge nach allen Seiten zu untersuchen. Die große Erleichterung und Vereinheitlichung, welche wir dadurch für das Verständnis der wirklichen Dinge und daher auch für die Voraussicht der künftigen Geschehnisse gewinnen können, rechtfertigt jede Anstrengung in dieser Richtung.



6

BIOLOGIE UND CHEMIE

(Rede, gehalten am 18. August 1903 zur Einweihung des von Prof. J. Loeb erbauten Biologischen Laboratoriums der Californischen Universität zu Berkeley.)



Das Fest, welches wir heute feiern, ist wie der Stapellauf eines schönen Schiffes. Mit Bedacht ist der Kiel gelegt worden, schlank und kräftig hat man den Körper gebaut, Maschinen und Schraube sind von neuester und bester Konstruktion. Vor allem aber wissen wir, daß der Kapitän ein Mann ist, der mit sicherer und kühner Hand das Schiff auf die hohe See der Wissenschaft zu führen versteht, denn wir wissen alle, was für wunderbare Fahrten er bereits gemacht, und was für märchenhafte Schätze er dabei erbeutet hat. So können wir unserem stolzen Schiffe eine günstige und erfolgreiche Fahrt nicht nur wünschen, sondern sie mit aller Zuversicht, die in menschlichen Dingen möglich ist, auch voraussagen. Nur eine Frage bleibt noch offen: wie wird das Wetter sein?

Nun, meine Herren, es ist eine mißliche Sache, das künftige Wetter prophezeien zu wollen. Auch ist unser Schiff so gebaut, daß es auch Stürme überstehen und gegen widrigen Wind fahren kann. Aber da seine Erbauer allerlei Liebe und Hoffnung mit hineingebaut haben, so wäre es uns doch eine große Freude, wenn wir genügende Ursache fänden, auch in

dieser Beziehung unserem Schiffe Günstiges voraussagen zu können. Hier darf der Wunsch aber nicht das Urteil trüben; wir wollen, so ehrlich wir können, die wissenschaftliche Wetterlage prüfen. Vielleicht können wir dann erkennen, wohin das Schiff am besten gesteuert wird, damit wir eine erfolgreiche Fahrt erwarten dürfen.

Zwar ist es mit einer wissenschaftlichen Entdeckungsreise noch heute wie vor einem halben Jahrtausend mit einer geographischen war: unbekanntes Land liegt rings um uns und wir werden Neues sehen, in welcher Richtung wir die Grenze des Bekannten überschreiten mögen. Denn es ist ja nichts leichter, als Entdeckungen machen: man müßte schon sehr kenntnislos oder ungeschickt sein, wenn man nicht in jedem Gebiete der Naturwissenschaften nach einigen Wochen, höchstens Monaten fleißiger Arbeit neue Tatsachen finden und sammeln könnte. Aber damit ist es noch nicht getan. Neue Tatsachen sind an sich nur eine geringfügige Bereicherung der Wissenschaft. Ihren Wert erhalten sie erst durch den Zusammenhang, in welchem sie mit bereits bekannten und mit künftig bekannt werdenden stehen. Es ist mit ihnen wie mit dem Golde: für sich ist das Gold nur ein Mineral unter tausenden; seinen Wert erhält es erst im Zusammenhange mit dem ganzen System der wirtschaftlichen Werte.

Also wenn es sich nur darum handelte, neue Länder zu entdecken, so könnte unser Schiff jeden beliebigen Kurs steuern: es ist nur eine Frage der Zeit, wann neues Land sichtbar wird, aber allerdings auch eine Frage des Zufalls, von welcher Beschaffenheit dies Land sein wird. Und ein skeptischer Zuschauer wird vielleicht sagen: eines ist sicher, daß wir nämlich das neue Land jedenfalls nicht kennen, und so dürfen wir auch nicht versuchen, etwas darüber voraussagen zu wollen.

Hierauf ist zu antworten, daß es keineswegs so unmöglich ist, in die Zukunft zu schauen, wie wir es uns gewöhnlich denken. Wenn wir der Sache auf den Grund gehen, so beruht umgekehrt

unsere ganze Kultur darauf, daß wir in die Zukunft schauen, es auch können und tun; ja man kann behaupten, daß die Höhe einer vorhandenen Kultur ganz unmittelbar darnach bemessen werden kann, wie vollkommen die Propheten dieser Kultur ihren Beruf verstehen und die Zukunft prophezeien. Außer Essen und Trinken, Schlafen und Küssen tun wir nicht sehr viele Dinge unmittelbar ihrer selbst wegen; die zahllosen anderen Dinge, mit denen wir unser Leben ausfüllen, unternehmen wir nur wegen der Folgen, die wir künftig von ihnen erwarten. So haben wir alle heute gehandelt, als wir uns zu dieser Zusammenkunft zurecht machten, und wenn Sie nicht augenblicklich aufstehen und nach Hause gehen, so tun Sie es auch nur, weil Sie besseres von mir und anderen zu hören erwarten, als Sie bisher gehört haben.

Natürlich ist der Grad der Sicherheit, mit welcher man prophezeien kann, außerordentlich verschieden. Daß morgen und übermorgen und weiterhin alle 24 Stunden die Sonne auf- und untergehen wird, daß alle 365 Tage sich der Wechsel der Jahreszeiten wiederholen wird, halten wir alle für so sicher, daß wir ohne Zögern unser ganzes Leben auf dieser Grundlage errichten. Dagegen können wir, wenigstens in Europa, nicht mit Sicherheit eine Landpartie über zwei Tage verabreden, da wir nicht voraussagen können, ob es regnen wird. Daß unsere Staaten ihren finanziellen Verpflichtungen über Jahrzehnte, wahrscheinlich auch Jahrhunderte hinaus nachkommen werden, nehmen wir als so sicher an, daß wir nicht zögern, unsere ganze pekuniäre Existenz auf diese Annahme zu stützen. Welchen Kurs aber die Aktien der Stahltrusts nach acht Tagen haben werden, wird vielleicht ein besonders begabter Börsenbesucher mit einiger Wahrscheinlichkeit schätzen können; die Mehrzahl der Menschen ist gänzlich unfähig dazu.

Es ist also ein ungeheuer verwickeltes und mannigfaltiges Gewebe von größter Sicherheit bis zu unbestimmtester Möglichkeit, aus welchem unsere Zukunftsvorstellungen bestehen,

und an jeder derartigen Voraussicht ist der Inhalt und der Wahrscheinlichkeitsgrad zu unterscheiden. Wir erkennen alsbald, daß zum Kampfe ums Dasein derjenige Mensch am geschicktesten sein wird, der in irgend einem Gebiete diese Fragen: was wird geschehen, und welcher Sicherheitsgrad besteht dafür, daß es geschieht? genauer beantworten kann, als seine Nebenmenschen. Daher rührt die hohe Verehrung und die knechtische Furcht, mit welcher Völker von niedriger Entwicklung ihre Propheten und Medizinmänner betrachten. Wenn die römische Republik einen Krieg unternahm, so befragte sie die Auguren darüber, was zukünftig in diesem Kriege geschehen würde, und als Bismarck 1870 den Zusammenstoß Deutschlands mit Frankreich unvermeidlich vor der Tür sah, stellte er an Moltke genau die gleiche Frage. Die Auguren prophezeiten aus den Eingeweiden der Opfertiere, Moltke prophezeite auf Grundlage seiner wissenschaftlichen Untersuchung der beiderseitigen militärischen Verhältnisse. Hier haben Sie den Unterschied der alten und der neuen Kultur vor Augen: das entscheidende Wort heißt Wissenschaft.

Das ist in der Tat dasjenige, was die Wissenschaft kennzeichnet: ihr Ziel ist, den Blick in die Zukunft zu ermöglichen, und sie ist um so vollkommener, je weiter und sicherer sie uns schauen läßt. Wohl jeden von uns hat gelegentlich die Frage beschäftigt, worin das Wesen der Wissenschaft zu suchen sei, und die Verschiedenheit der Antworten darauf ist sehr groß. Auch ich habe entsprechend dem Zustande meines eigenen Wissens mir selbst im Laufe der Zeit recht verschiedene Antworten gegeben. Seitdem ich aber die Definition besitze, welche ich Ihnen eben vorgelegt habe (und die ich schon bei Locke angedeutet finde), sehe ich mich in den Stand gesetzt, eine große Anzahl besonderer Probleme weit leichter und sicherer zu lösen, als es mir bis dahin möglich war.

Und nun, meine Herren, nachdem wir uns scheinbar weit

von dem Gegenstande unserer Unterredung entfernt haben, sind wir wieder mitten in ihn hineingelangt. Die Wissenschaft muß uns die Mittel an die Hand geben, den Kurs zu wählen, welcher unserem Schiffe die größte Wahrscheinlichkeit sichert, solche unbekannte Gebiete zu erreichen, auf welche wir eben besonders großen Wert legen, und sie muß uns, wenn wir die gesuchte Küste vor Augen haben, auch lehren, wo wir am besten Anker werfen und wie wir die neuen Gestade am leichtesten erklimmen können.

Es handelt sich hier allerdings um eine Wissenschaft der Wissenschaften. Nicht besondere Fragen der Mathematik oder Chemie sollen wir hier beantworten, sondern Fragen über die Gesetze, nach denen sich jede einzelne Wissenschaft, unabhängig von ihrem Inhalte, entwickelt. Eine solche Wissenschaft gibt es heute noch kaum. Zwar sind wertvolle Vorarbeiten geleistet: die Geschichte der verschiedenen Einzelwissenschaften ist mehr oder weniger eindringend und umfangreich erforscht und die heutige Begriffsbestimmung der Philosophie kommt dieser Aufgabe ziemlich nahe. Allerdings vermißt man noch meist die Betonung des Entwicklungsgeschichtlichen in diesem Teile der Philosophie und die des Übereinstimmenden in den Geschichten der Einzelwissenschaften. Aber an beiden Seiten ist unzweifelhaft die Tendenz vorhanden, die Arbeit gerade in solcher Richtung auszuführen, und so dürfen wir die Entstehung einer Biologie der Wissenschaft als eine Frucht der nächsten Zeit ansehen.

Es ist in der Tat ein biologisches Problem, um das es sich hier handelt. Ein Kieselstein oder ein Komet braucht keine Wissenschaft, denn soviel wir beurteilen können liegt ihm nichts an seiner Existenz. Wir aber, die wir unsere Zustände nicht nur erhalten, sondern auch verbessern wollen, brauchen die Wissenschaft, um dies zu tun. Denn um etwas zu erhalten, müssen wir seine Existenzbedingungen wissen, und um etwas zu verbessern, müssen wir die Möglichkeiten seiner

Beeinflußung kennen. Das möglichst sichere und weite Wissen hiervon aber ist eben das, was wir Wissenschaft nennen.

In der Tat, wenn wir uns die Frage nach dem allgemeinsten Vorgange stellen, der sich in dem uns zugänglichen Ablauf der Geschichte vollzogen hat und noch vollzieht, so erkennen wir als solchen die Eroberung aller geistigen Gebiete durch die Wissenschaft.

Wenn wir uns die primitivsten Entwicklungszustände des Menschen vorstellen, so sehen wir zweifellos, daß das Individuum, das Volk im Kampfe ums Dasein schließlich den Sieg erringt, welches am sichersten die kommenden Dinge vorauszusehen und daher zu beeinflussen verstand. Es gibt ja Zustände, in welchen der Kampf von Faust zu Faust, und damit die Stärke zu entscheiden scheint. Aber schon hier sehen wir die Geschicklichkeit, d. h. den intellektuellen oder wissenschaftlichen Faktor einen großen Teil der Kraft aufwiegen, und dieser Teil wird um so größer, je weiter die Entwicklung vorschreitet. Die großen Führer der Menschheit waren stets die, welche ihre Zukunft am sichersten voraussahen.

Vielleicht wird man mir hier den Einwand machen, daß wir gewohnt sind, nicht die Entdecker und Erfinder, sondern die Gesetzgeber und politischen Organisatoren als die Führer der Menschheit anzusehen, und es ist wohl gut, diesen scheinbaren Gegensatz zunächst in Ordnung zu bringen. Wir bezeichnen ja beide Dinge, die Regelmäßigkeiten des natürlichen Geschehens und die der willkürlich beeinflußten menschlichen Handlungen mit dem gleichen Namen Gesetz. Das Große, was jene moralischen und politischen Gesetzgeber geleistet haben, ist, daß sie gewisse Gebiete der menschlichen Handlungen der Voraussicht zugänglich machten. Da sie die inneren Ursachen nicht kannten, von denen solche Handlungen abhängig sind, mußten sie äußere Regeln und Gesetze im juristischen Sinne geben. Diese konnten mehr oder weniger mit den unbekannten psychologischen und bio-

logischen Gesetzen übereinstimmen, welche für die fraglichen Erscheinungen maßgebend sind. Je besser diese Übereinstimmung war, um so dauernder erhielten sich diese Gesetze, um so größer und einflußreicher haben sich jene Gesetzgeber erwiesen. So ist also auch jede politische und moralische Organisation den biologischen Bedingungen als oberster Instanz unterworfen und damit sind auch diese Gebiete als solche gekennzeichnet, die gleichfalls der unwiderstehlichen Eroberung durch die Wissenschaft anheimzufallen bestimmt sind.

Manche von meinen Freunden, und zwar solche, die ich persönlich besonders hochschätze, haben mir, wenn wir derartiges besprachen, mit großem Nachdruck einen Einwand gemacht, von dem ich annehme, daß er auch Ihnen auf der Zunge liegen wird. Wir sind gewohnt, mit den zuletzt erwähnten Fragen Empfindungen zu verbinden, welchen wir einen großen Wert zuschreiben, und welchen wir einen großen Einfluß auf uns gestatten. Wir sehen die politischen und moralischen Gesetze mit einem anderen Gefühle an, als die physikalischen und chemischen; etwas, das wir mit Ehrfurcht bezeichnen, kennzeichnet unsere Stellung zu jenen. Und dann gibt es noch ein großes Gebiet, welches dem Einflusse der Wissenschaft ganz entzogen scheint, und welches dennoch einen großen und wertvollen Teil unseres Lebens bildet, das der Kunst. Auch hier sind es mehr oder weniger lebhafte Empfindungen, welche sich in uns betätigen, und welche uns Anlaß geben, die Kunst als etwas zu betrachten, was uns über unsere gewöhnliche Natur und unseren alltäglichen Zustand hinausführt. Diese Empfindung des Schönen, Großen, Starken, Ewigen möchten wir uns nicht stören oder verkleinern lassen, und deshalb protestieren gerade solche, welche den Wert und Reiz des Lebens in diesen Dingen sehen, besonders lebhaft gegen ihre Absorption durch die Wissenschaft, der sie Nüchternheit und Kälte, also das Gegenteil jener Empfindungen, zuschreiben.

Nun, in einem Kreise, wie der heutige, wo jeder von uns in irgend einem Sinne den besten Teil seines Lebens der Wissenschaft geweiht hat, brauche ich nicht erst weitläufig zu begründen, daß die Wissenschaft von ihren Jüngern allerdings Nüchternheit und Kälte fordert, so weit es sich um die Kritik handelt, d. h. um die Prüfung, ob unsere Arbeit auch zuverlässig und gesund ist. Aber nicht minder verlangt die Wissenschaft von uns Ehrfurcht, Ehrfurcht vor dem Dauerndsten, was wir kennen, Ehrfurcht vor der Wahrheit. Diese Ehrfurcht ergibt sich daraus, daß wir wissen: vor der Wahrheit gibt es kein Entrinnen. Mag ein Irrtum noch so versteckt sein, mag er sich noch so unerkennbar in das Gewand der Wahrheit gekleidet haben: wir wissen es alle, daß er doch entdeckt und vertrieben werden wird, daß das innere Leben der Wissenschaft derartige fremde Einlagerungen mit unwiderstehlicher Gewalt auszustoßen weiß. Und zwar erfolgt die Ausstoßung um so schneller und energischer, je lebhafter der Stoffwechsel zwischen den falschen und den wahren Teilen des Organismus ist, weil um so früher sich die Unverträglichkeit beider erweist. Nur solche Irrtümer können sich, einem eingekapselten Fremdkörper gleich, längere Zeit im Leibe der Wissenschaft aufhalten, welche ein in sich abgeschlossenes und mit den anderen Teilen der Wissenschaft nur mechanisch zusammenhängendes Gebilde darstellen. Darum gibt es umgekehrt kein besseres Mittel, die Wahrheit einer wissenschaftlichen Anschauung zu prüfen, als sie mit möglichst viel anderen Teilen der allgemeinen Wissenschaft in organische Verbindung zu setzen. Hierüber werden wir später noch eingehend genug zu reden haben.

Daß wir diese unwiderstehliche Kraft der Wissenschaft noch nicht als einen Gegenstand täglicher Erfahrung oder Betrachtung kennen, ist die Ursache, warum die Gefühle der Ehrfurcht nicht mit derselben Stärke in uns erwachen, wenn wir uns ihr nähern, wie sie es gegenüber anderen Dingen tun, deren Größe und Stärke wir von Jugend auf zu verehren unter-

richtet worden sind. Aber wenn wir erst einmal die Wissenschaft als das zu sehen gelernt haben, was all unser Leben zu bestimmen die Kraft und den Inhalt hat, dann wissen wir allerdings nichts Verehrungswürdigeres und Gewaltigeres.

Und wie steht es nun mit dem Schönen, mit der Kunst? Zunächst ist es außer allem Zweifel, daß die Entwicklung der Kunst von der der Wissenschaft abhängig ist. Läßt man etwa die Geschichte einer der abgerundetsten Kunsterscheinungen, der griechischen Plastik, an seinem geistigen Auge vorüberziehen, so sieht man, wie von Stufe zu Stufe das zunehmende Wissen, und zwar sowohl das anatomische Wissen ihres Gegenstandes, des menschlichen Körpers und seiner Ausdrucksbewegungen, wie die Kenntnis des Materials, des Marmors und Metalls, den Fortschritt bedingt hat, und wie die künstlerische Höhe jedesmal der wissenschaftlich-technischen entsprochen hat. Genau wie die Wissenschaft im allgemeinen zu ihrem Fortschritt der immer genaueren Kenntnis ihres Gegenstandes und ihrer Mittel bedarf, so ist es in der Kunst. Und genau so wie in der Wissenschaft auch bei beschränkten Mitteln durch einen großen Genius ein ganz außerordentliches Werk geschaffen werden kann, wie Newtons Gravitationsgesetz oder Mayers Energiegesetz, so kann ein großer Künstlergenius mit den beschränkten Mitteln seiner Zeit auch Werke schaffen, welche die Jahrhunderte, vielleicht auch die Jahrtausende überdauern, wie die Dramen des Äschylus oder Beethovens neunte Symphonie.

Aber auch hier tritt uns in gewissem Sinne die Überlegenheit der Wissenschaft entgegen. Denn während wir nicht zweifeln, daß jene wissenschaftlichen Ergebnisse so lange dauern werden, als überhaupt Kultur auf der Erde bestehen wird, zögern wir doch, über Kunstwerke in gleicher Weise zu urteilen. Wir verkennen nicht, daß Spuren des Alters bei Äschylus erkennbar sind, d. h. Stellen, die bei uns heute nicht mehr die Reaktion hervorbringen, welche sie sicher auf die Zeitgenossen hervor-

gebracht hatten, und ebenso sind uns Zeiten nicht undenkbar, wo die neunte Symphonie keinen stärkeren Eindruck hervorrufen wird, als ihn jetzt etwa eine Symphonie von Haydn bewirkt.

Dies deutet darauf hin, daß die Kunst selbst zu einem langsamen Aufsaugungsprozeß durch die Wissenschaft vorbestimmt ist. Ich glaube gern, daß diese Auffassung lebhaften, ja entrüsteten Widerspruch finden wird. Ich betone daher, daß ich persönlich der Kunst hohe und schöne Stunden zu danken habe; Poesie, Musik und Malerei haben mir Frische und neuen Mut gegeben, wo ich von wissenschaftlicher Arbeit erschöpft mein Werkzeug aus der Hand legen mußte. Aber ich kann nicht umhin, dies als ein Zeichen der Unvollkommenheit zu betrachten, weniger der Unvollkommenheit der Wissenschaft als meiner Person. Denn die Wissenschaft in solchem Sinne, wie ich heute von ihr rede, existiert ja nur in ihren ersten Anfangsgründen und der menschliche Organismus ist in seiner Anpassung an sie noch nicht eben weit gekommen. So leidet ein jeder von uns mehr oder weniger an atavistischen Rückständigkeiten, die in unseren beständigen Klagen über die unabsehbare Vervielfältigung und Vermehrung des wissenschaftlichen Materials zum anschaulichsten Ausdruck kommen. Wir also, und ebenso unsere Kinder und Kindeskinder, werden noch schöne und vielleicht auch große Stunden durch die Kunst genießen, denn es wird immer Gebiete der menschlichen Erfahrung geben, in welche die Wissenschaft noch nicht vorgedrungen ist, und in welchen sich daher die Kunst uneingeschränkt bewegen wird. Aber einem künftigen Geschlecht, welches die Wissenschaft der Psychologie beherrschen wird, mag dann manches heute bewunderte psychologische Drama ebenso naiv und unzulänglich vorkommen, wie uns Giottos Perspektive oder die ersten Zeichenversuche eines vierjährigen Kindes.

Aber wir wollen bei diesen Fragen nicht länger verweilen, weil wir näherliegende zu beantworten haben. Wir haben ja diese ganze Betrachtung nur angestellt, um von ihr die An-

wendung auf den vorliegenden Fall zu machen, um uns darüber Klarheit zu verschaffen, welcher Richtung voraussichtlich die besondere Wissenschaft, die Biologie, welche hier gepflegt werden soll, nehmen wird. Um uns das Recht zu sichern, hierüber überhaupt etwas Begründetes zu sagen, mußten wir uns überzeugen, daß eine derartige Voraussicht überhaupt möglich ist, und nun müssen wir noch eine kleine Vorbereitung erledigen, welche uns unmittelbar an das Problem bringt.

Die Wissenschaft ist ein Organismus, welcher sich beständig im Sinne seiner Selbsterhaltung und Entwicklung betätigt. Darum ist er mit Organen der Selbstregulierung versehen, durch welche Nützliches befördert und Schädliches beseitigt wird. Nun können derartige Organe immer erst in Wirkung treten, wenn die Vorgänge bereits eingetreten sind, welche durch sie beeinflußt werden sollen; jeder Regulator arbeitet also mit einer gewissen Verzögerung. Daraus geht hervor, daß die Wissenschaft ebenso wie jeder andere, mit Selbstregulierung versehene Apparat notwendig periodische Schwankungen um einen mittleren Zustand ausführen muß. Dieser mittlere Zustand ist nicht notwendig zeitlich unveränderlich; er ist vielmehr in unserem Falle in einem stetigen Ansteigen begriffen, weil die Wissenschaft nur vermehrt, nicht vermindert werden kann.

Ferner sind hier mehrere Energiequellen mit entsprechenden Regulatoren vorhanden; es wird sich also um eine Anzahl übereinanderliegender Perioden handeln, die ein ziemlich verwickeltes Bild geben und beispielsweise zuweilen durch Addition mehrerer Maxima oder Minima, die einzeln gering sind, eine ungewöhnlich große Elevation oder Depression hervorrufen können. Wir wollen zu bestimmen versuchen, in welchem Teil der Wellenlinie sich die Wissenschaft im allgemeinen und die Biologie im besonderen befindet.

Nun ist eine sehr einflußreiche Komponente dieser Bewegungen eben besonders deutlich zu erkennen. Wir haben soeben eine Zeit der Vereinzelung aller Wissenschaften, eine Zeit

der Spezialisierung hinter uns, und befinden uns in einer Epoche, wo die synthetischen Faktoren in der Wissenschaft eine immer wachsende Bedeutung gewinnen. Betrachten Sie nur, meine Herren, was Sie eben vor Augen haben! Im Hörsaale eines biologischen Instituts spricht in diesem feierlichen Augenblick ein Mann zu Ihnen, der selbst nicht Biologe ist, sondern ausdrücklich als Vertreter einer benachbarten Wissenschaft eingeladen wurde. Und dieser Mann ist selbst wieder das Produkt einer Synthese zweier benachbarter Wissenschaften, der Physik und der Chemie. Und weiter: wenn dieser Mann versucht, das beste, was er aus seinem Garten ernten kann, Ihnen darzubringen, so kommt er dazu, kein Wort von Physik und Chemie zu sagen, sondern vielmehr nach Gedanken zu suchen, welche noch über die Triade Physik-Chemie-Biologie hinausgehen und auf Fragen hinzielen, welche diese und noch weitere Wissenschaften umfassen. Das ist nicht etwa ein Zufall, sondern ein getreuer Ausdruck von Bestrebungen, die unsere ganze Zeit erfüllen. Überall suchen die einzelnen Wissenschaften den Anschluß aneinander, überall prüft der Forscher, welchen Wert seine speziellen Resultate für die Beantwortung der allgemeinsten Fragen haben: kurz, alle Wissenschaften fangen an zu philosophieren. Nirgend ist dieser Drang nach prinzipieller Aufklärung so groß, wie gerade in der Biologie; ein Blick in ihre Literatur läßt überall das heiße Bemühen erkennen, Licht auf die Grundfragen ihrer Arbeit zu werfen.

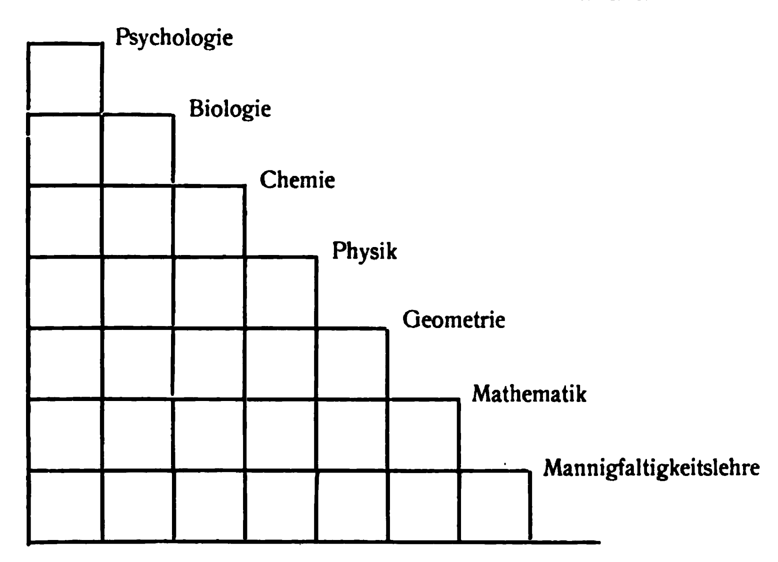
Dabei ist es natürlich in erster Linie ihr Verhältnis zu den angrenzenden Wissenschaften, insbesondere den anorganischen Naturwissenschaften Chemie und Physik, was die Biologen beschäftigt, und die Gegensätze der Meinungen haben sich in Gestalt der Schlagworte Vitalismus und Mechanismus fixiert. Wie in allen solchen Fällen entsteht eine große Gefahr daraus, daß man einen mannigfaltigen Komplex der verschiedenartigsten Dinge nach einem einzigen seiner vielen Bestimmungsstücke benennt; in der Tat sehen wir auch, daß z. B. ein

wohlbekannter Forscher sich selbst einen Mechanisten nennt, von den Mechanisten aber zu den Vitalisten gerechnet wird. Wenn ich versuche, die hier vorliegenden Fragen in meiner Weise zu behandeln, so möchte ich von vornherein ablehnen, mich zu einer dieser beiden Parteien zu schlagen; vielmehr will ich versuchen, auf möglichst allgemeiner Grundlage das Verhältnis der in Betracht kommenden Wissenschaften zu bestimmen.

Wenn man eine allgemeine Klassifikation der Wissenschaften auszuführen versucht, so kommt man bald zu dem Ergebnis, daß sie nicht nebeneinander bestehen, sondern einander umschließen, und zwar in einer merkwürdig reziproken Weise, die sich geometrisch nur unvollkommen darstellen läßt. Das Objekt aller Wissenschaften sind zunächst die Erlebnisse der Menschen. Jedes derselben setzt sich aus einer unbegrenzt großen Anzahl von Summanden zusammen; von diesen werden aber nur je nach dem Zwecke ganz wenige in Betracht gezogen, von allen anderen wird abgesehen. So umfaßt eine Wissenschaft um so mehr Erlebnisse, je geringer die Anzahl der in Betracht gezogenen Summanden ist, und sie umfaßt umgekehrt um so mehr übereinstimmende Summanden, je enger die Auswahl der Erlebnisse ist, welche sie zusammenfaßt. Daher ist die Wissenschaft, welche in einer Beziehung die weiteste ist, in anderer Beziehung die engste, und umgekehrt. Um Ihnen wenigstens eine ungefähre Anschauung der Verhältnisse zu geben, möchte ich Ihnen die folgende summarische Skizze vorlegen, in welcher die Zahl der Erlebnisse horizontal, die der jeweils beachteten Summanden vertikal dargestellt ist.

So sehen Sie, daß einerseits die Mannigfaltigkeitslehre (unter welcher ich etwas verstehe, wovon die Mathematik oder Größenlehre nur ein Teil ist) die umfassendste und engste Wissenschaft ist, indem sie sich auf alle Erlebnisse erstreckt, von diesen aber nur eine einzige Seite (daß jedes nämlich ein unterscheidbares Objekt ist) in Betracht zieht, während umgekehrt die Psychologie die engste und umfassendste Wissenschaft ist, da sie sich nur auf

die Erscheinungen bezieht, welche an die Existenz des menschlichen Gehirns (oder, wenn man es so lieber nennt, der menschlichen Seele) gebunden sind, hier aber sämtliche Summanden in Betracht zu ziehen bemüht ist. Man übersieht, daß in der von der Mannigfaltigkeitslehre ab gerechneten Reihenfolge jede nachfolgende Wissenschaft die vorangegangene zwar zur Voraussetzung hat, aber insofern über sie hinausgeht, als sie neue, in dieser noch nicht betrachtete Seiten oder Summanden bearbeitet



und dadurch den Umfang enger macht, nämlich nur auf die mit jenem Summanden behafteten Gegenstand bezieht. So hat die Mathematik mit Mannigfaltigkeiten zu tun, aber nur mit solchen, welche eine Größe besitzen, und die Geometrie mit Größen, aber nur solchen, die außerdem die Eigenschaften des Raumes haben. Physik behandelt räumliche Objekte, insofern sich an ihnen die verschiedenen Energiearten betätigen, Chemie solche physikalische Objekte, die durch qualitative Verschiedenheiten, abgesehen von den gleichzeitig anwesenden anderen Energien, gekennzeichnet sind. Die Biologie ist in diesem System die Lehre von solchen chemischen Objekten,

welche einen stationären Energiezustand, d. h. Ernährung und Fortpflanzung aufweisen, und die Psychologie endlich betrifft die Lebewesen nur, insofern sie geistige Funktionen ausüben, wodurch sich alsbald praktisch eine fast vollständige Beschränkung auf die geistigen Funktionen des Menschen, als die einzigen, von denen wir einigermaßen sichere Kenntnis haben, ergibt.

Es braucht kaum gesagt zu werden, daß diese Einteilung insofern willkürlich ist, als man zwischen die angegebenen Stufen noch zahlreiche Zwischenstufen schalten kann, in welchen geringere Unterschiede zur Geltung gebracht werden können. So kann man zwischen Biologie und Psychologie noch Soziologie und Völkerpsychologie schalten, zwischen Physik und Chemie physikalische Chemie u. s. w. Hierauf brauche ich nicht einzugehen. Wichtiger wäre vielleicht, zwischen Mathematik und Geometrie noch Chronologie, d. h. die Lehre von den Gesetzen der Zeit (nicht etwa die Lehre von den geschichtlichen, geologischen oder astronomischen Zeiten) einzuschalten, doch würden uns diese Betrachtungen zu weit führen.

Wesentlich für unser Problem ist dagegen, daß wir hieran bezüglich der Biologie folgendes deutlich erkennen. Sie setzt alle früheren Wissenschaften von der Mannigfaltigkeitslehre bis zur Chemie voraus, d. h. alle biologischen Erscheinungen sind den Gesetzen dieser Wissenschaften unterworfen. Genau so bleiben etwa alle chemischen Erscheinungen vollkommen innerhalb des Rahmens der Mathematik und Physik, insofern als keine chemische Erscheinung je diesen Gesetzen (soweit sie richtig sind) widersprechen wird. Aber die mathematischen und physikalischen Gesetze erschöpfen nicht das, was über die chemischen Erscheinungen gesagt werden kann, und die qualitativen Stoffverschiedenheiten, welche den Gegenstand der Chemie bilden, lassen sich mit den Hilfsmitteln jener Wissenschaften nicht ausreichend darstellen und bearbeiten. Die Ursache ist, daß wir in der Chemie eine reichere Mannigfaltigkeit

haben, als in den vorangegangenen Wissenschaften. Ob eine Kugel von Gold oder eine gleich große von Kohle auf 100 Volt elektrisch geladen ist, macht keinen Unterschied, so lange wir die physikalische, d. h. hier die elektrische Erscheinung in Betracht ziehen. Ob wir aber eine Kugel von Schwefel oder eine gleich große von Kohle verbrennen, macht chemisch einen unüberbrückbaren Unterschied. So ist auch der chemischen Zusammensetzung nach ein lebender Mann von einem toten nicht zu unterscheiden; biologisch macht es einen fundamentalen Unterschied, denn der erste kann sich ernähren und fortpflanzen, der zweite nicht. Vielleicht werden Sie mir hier einige Einwendungen machen, doch glaube ich nicht, daß sie die Sache wesentlich ändern würden; es könnte höchstens erforderlich sein, die Definition des Lebens etwas umständlicher auszusprechen.

Hieraus ergibt sich nun unmittelbar die Antwort auf die viel erörterte Frage: genügen die Gesetze der Chemie und Physik, um alle biologischen Erscheinungen zu erklären? Die Antwort muß in einem Sinne ja, im anderen nein lauten. Ja insofern, als alle biologischen Erscheinungen innerhalb des Rahmens der Möglichkeiten liegen, welcher durch jene Wissenschaften gegeben ist. Nein insofern, als innerhalb dieses Rahmens durch die biologischen Tatsachen sicher eine größere Mannigfaltigkeit gegeben wird, als durch Physik und Chemie erschöpfend darstellbar sein könnte.

Vielleicht wird das hier vorhandene Verhältnis klarer, wenn wir das analoge Verhältnis zwischen Mathematik und Physik untersuchen. Sicher sind alle physikalischen Erscheinungen dem Größenbegriff unterzuordnen, und insofern kann man die Physik als einen Teil der Mathematik bezeichnen. Aber ebenso sicher kann man mit den Hilfsmitteln der Mathematik allein eine physikalische Erscheinung nicht erschöpfend darstellen. Wir können beispielsweise die physikalischen Vorgänge, die mit dem Durchgange eines elektrischen Stromes durch einen gegebenen Leiter verbunden sind, mathematisch mit jedem Grade

der Annäherung darstellen, welcher mit den vorhandenen Mitteln der Analysis erreichbar ist; wodurch sich aber dieser Vorgang etwa von dem Vorgange der Wärmeleitung durch den gleichen Körper unterscheidet, können wir mathematisch nicht zum Ausdruck bringen, denn hierbei treten neue Arten der Mannigfaltigkeiten auf, welche eben in der Mathematik nicht behandelt werden, sondern erst in der Physik.

Indem nun die Mechanisten die eine Seite der Sache, die Vitalisten die andere betonen, kommt die merkwürdige Erscheinung zu tage, daß in beiden Lagern hochstehende und bedachtsame Forscher scheinbar Entgegengesetztes behaupten, während es doch nur eine Wahrheit geben kann, und uns beide als ernste und aufrichtige Wahrheitssucher bekannt sind.

Unzweifelhaft gewinnen diese allgemeinen Betrachtungen ihren Wert für die vorliegende Frage erst bei eingehender Untersuchung der neuen Summanden, durch welche sich die biologischen Objekte von anderen chemischen Objekten unterscheiden. Wir pflegen diesen Unterschied in das Wort Leben zusammenzufassen. Fragen wir nach den aufweisbaren und meßbaren Kennzeichen dieses Begriffes, so finden wir folgendes: Lebewesen sind zunächst nicht stabile, sondern stationäre Gebilde, in ihnen verlaufen die schnellen Änderungen derart, daß Gewinn und Verlust sich nahezu decken, so daß der Gesamtzustand nur langsame Änderungen erfährt (die zudem fast alle periodisch sind). Da alle physischen Änderungen sich als räumliche und zeitliche Verschiebungen der verschiedenen Arten der Energie darstellen lassen, so sind also die Lebewesen dadurch gekennzeichnet, daß sie ihren Energiebestand nach Art und Menge annähernd konstant halten, während ein dauernder Strom der verschiedenen Energien sich durch ihren Körper ergießt. Dies kann nach den allgemeinen Gesetzen der Energetik nur in solcher Gestalt stattfinden, daß die Lebewesen Energie höheren Potentials aufnehmen und sie bei niederem Potential abgeben. Inzwischen hat sie zu den Transformationen gedient, aus denen

die verschiedenen Lebensbetätigungen (Bewegung, Wärmeerzeugung, Fortpflanzung u. s. w.) des Wesens bestehen.

Diese Kennzeichnung trifft nun nicht nur für ein Lebewesen zu, sondern auch für manche anorganische Gebilde. Eine brennende Kerze, deren Docht das geschmolzene Fett der Flamme in dem Maße zuführt, als es dort verbrannt wird, oder ein Benzinmotor, der durch den Schwungkugelregulator sich selbst den Benzinzufluß so abmißt, daß er seine Geschwindigkeit stationär erhält, hat genau die gleiche Eigenschaft, und wir sind deshalb gewohnt, von der „Flamme des Lebens" oder der „Maschine unseres Körpers" zu reden. Aber wir rechnen sie nicht zu den Lebewesen, weil ihre Existenz keine erhaltungsgemäße ist. Wenn das Fett verzehrt oder das Benzin zu Ende ist, so erlischt die Flamme und der Motor bleibt stehen, denn beide haben nicht die Fähigkeit, rechtzeitig neues Fett oder Benzin zu beschaffen.

Nun kann man sich ja noch einen weiteren Regulator denken, welcher neues Benzin aus einem Tank in das Behälter pumpt, wenn das vorhandene zu Ende gehen will. Aber schließlich geht auch dies zu Ende, oder an der Maschine bricht vorher ein arbeitender Teil, so daß das Stehenbleiben unvermeidlich ist. Die Maschine müßte also, um sich oder ihresgleichen dauernd zu erhalten, im ersteren Falle irgendwohin gehen können, wo sie neues Benzin findet, im zweiten müßte sie entweder die zu grunde gehenden Teile selbsttätig ersetzen oder sie müßte vor dem Eintreten des Bruches selbsttätig eine neue Maschine herstellen können, welche an ihrer Stelle die Arbeit übernimmt. Wenn es eine solche Maschine gäbe, müßten wir sie ein lebendes Wesen nennen.

Eine solche Bestimmung wird Ihnen, meine Herren, vielleicht willkürlich erscheinen. Hat doch unter anderem ein hervorragender Forscher die Meinung ausgesprochen, daß, wenn man künstlich ein Gebilde mit allen Eigenschaften und Funktionen eines bestimmten Organismus herstellen würde, dies doch

kein eigentliches Lebewesen wäre. Hiergegen ist nur die Frage zu stellen, wie er es, wenn er es zufällig fände, von einem „eigentlichen“ Organismus der gleichen Art unterscheiden wollte, da beide nach der Voraussetzung in allen Eigenschaften, d. h. in allem Erkennbaren, übereinstimmen sollen. Was man aber nicht unterscheiden kann, muß man grundsätzlich als gleich anerkennen.

Was nun aber die Willkür der Bestimmung anlangt, so ist sie geringer, als man denken sollte. Wie bilden wir denn unsere Begriffe? Dadurch, daß wir an vielen Erscheinungen das Übereinstimmende zusammenfassen und auf die Beachtung des Verschiedenen verzichten.

Bei den *stabilen* chemischen Gebilden sind die chemischen *Stoffe* der Begriff, unter welchem wir die Objekte mit übereinstimmenden spezifischen Eigenschaften zusammenfassen, und wir können diesen Begriff bilden, weil wir die einzelnen Stoffe, z. B. den Schwefel, unter den verschiedensten Verhältnissen finden oder herstellen können, wobei immer seine spezifischen Eigenschaften sich als gleich ausweisen. Viel schwieriger finden sich die Bedingungen zu solcher Begriffsbildung bei Gebilden, in welchen chemische *Änderungen* stattfinden. Damit solche Gebilde uns überhaupt als Gegenstände der Begriffsbildung dienen können, müssen sie wenigstens *äußerlich* beständig erscheinen, da wir sie sonst überhaupt nicht identifizieren könnten, d. h. sie müssen, da sie nach der Voraussetzung nicht *stabil* sein sollen, wenigstens *stationär* sein. Aber auch stationäre Gebilde werden uns nicht zu Begriffsbildungen veranlassen, wenn sie sich uns nicht immer wieder in gleicher Gestalt darbieten. *Physikalische* stationäre Gebilde solcher Art sind Flüsse, Wolken, Wellen; sie sind wesentlich durch bestimmte *räumliche* Gestaltung gekennzeichnet, für deren Entstehung die Bedingungen leicht und oft sich zusammenfinden. *Chemische* stationäre Gebilde entstehen wegen der schwierigeren Bedingungen hierfür sehr viel seltener; das

einzige, das ich Ihnen zu nennen wüßte, ist die Flamme, für deren Entstehung neben dem überall vorhandenen Sauerstoff und den weitverbreiteten Pflanzenresten nur noch das Auftreten einer Temperatur von rund 400° oder 500° erforderlich ist. Und selbst diese einfache Konstellation entsteht freiwillig, d. h. ohne Zutun des Menschen recht selten.

Es leuchtet demnach ein, daß die freiwillige Entstehung solcher Gebilde, welche neben ihrer stationären Beschaffenheit noch die Fähigkeit der Selbsterhaltung, d. h. der Aufsuchung der erforderlichen Energiequellen besitzen, als eine ganz außerordentlich seltene Erscheinung aufgefaßt werden muß. Erst wenn ein solches Gebilde noch dazu die Eigenschaft der gleichartigen Reproduktion besitzt, wird man überhaupt die Möglichkeit zugeben können, daß es sich unserer Beobachtung so oft darbieten wird, daß wir zu einer entsprechenden Begriffsbildung gelangen. Von dieser Seite sieht also die Sache so aus: wie etwa die Organismen entstanden sein mögen, lehren uns diese Überlegungen nicht; wohl aber lehren sie uns, daß wir zum Begriff der Organismen als stationärer chemischer Gebilde nie gelangt wären, wenn diese Gebilde nicht außerdem die Eigenschaft der Assimilation und Reproduktion besäßen. Diese Eigenschaften sind es nun auch, welche an dem stationären chemischen Gebilde, das wir Lebewesen nennen, immer angetroffen werden, und welche das Neue, Spezifische der Biologie gegenüber der Chemie bilden. Auf diesem Punkte haben also die Vitalisten recht.

Gesellt sich aber zu dieser Einsicht die Behauptung, daß wir „folglich" das Leben niemals werden erklären können, so liegt eine Verwechslung zwischen einer Frage der wissenschaftlichen Systematik und einer der experimentellen Forschung vor. Erklären heißt hier wie überall in der Wissenschaft die Nachweisung tatsächlicher Zusammenhänge zwischen verschiedenen Erscheinungsreihen. Eine chemische Erklärung des Lebens liegt bereits vor; wir zweifeln alle nicht daran, daß

Leben ohne chemische Vorgänge, bei welchen freie Energie verfügbar wird, nicht denkbar ist. Woran es fehlt, ist die vollständige Analyse der einzelnen derartigen chemischen Prozesse, welche in lebenden Wesen stattfinden. In großen Zügen kennen wir manche von den Vorgängen, so die Oxydationserscheinungen in den Geweben, manche von der Verdauung im Darmkanal u. s. w. Die meisten sind uns aber noch unbekannt. Ob wir dann, wenn wir diese Vorgänge alle kennen werden, auch jenen Organismus werden herstellen können, muß vorläufig dahingestellt bleiben. Wir haben vielerlei Dinge begriffen und erklärt, ohne sie machen zu können, und ob die Organismen zu diesen gehören, oder zu den anderen, die wir außerdem machen können, wird sich eben erst in jener künftigen Epoche herausstellen.

Um deutlicher zu machen, was ich meine, möchte ich ein Beispiel geben. In einem Raume, in welchem gar keine Elektrizität enthalten ist, können wir jederzeit welche machen; wir können mit anderen Worten andere Energie in elektrische verwandeln und erhalten sie mit ihren beiden Faktoren Elektrizitätsmenge und Potential. Dagegen können wir nicht in gleichem Sinne Gravitationsenergie schaffen, sondern nur vorhandene durch Entfernung oder Näherung der schweren Körper größer oder kleiner machen. Die Ursache davon ist leicht einzusehen. Elektrizitätsmengen treten jedesmal in gleichen Mengen positiv und negativ auf, so daß ihre algebraische Zahl stets Null ist. Infolgedessen kann man ohne Verletzung des Gesetzes von der Erhaltung der Kapizitätsgrößen beliebige Elektrizitätsmengen erzeugen, da ihre Gesamtmenge stets Null bleibt. Der entsprechende Faktor der Gravitätsenergie aber ist der Masse proportional und hat daher notwendig einen positiven Wert, der ebensowenig wie die Masse erzeugt oder verändert werden kann. Es läßt sich nun zur Zeit wohl nicht sicher voraussehen, ob bei der vollständigen Analyse des Lebens solche Faktoren zu tage treten werden, die keine Erzeugung gestatten. Aus dem

Umstande indessen, daß Leben willkürlich vernichtet werden kann, geht für mich mit einiger Wahrscheinlichkeit hervor, daß auch seiner willkürlichen Erzeugung nur technische, nicht prinzipielle Schwierigkeiten entgegenstehen.

Welches sind nun diese Schwierigkeiten? Die Antwort ist schon oft gegeben worden; sie liegen darin, daß jeder, auch der einfachste Organismus, ein sehr verwickelter Apparat ist, in welchem zahlreiche verschiedene Reaktionen so nebeneinander ablaufen, daß sie sich gegenseitig für den Lebenszweck der Selbsterhaltung u. s. w. unterstützen. Hierzu ist vielerlei erforderlich, vor allem, daß ihre Geschwindigkeiten gegeneinander zweckmäßig abgeglichen sind. Eine Maschine würde sich selbst zertrümmern, wenn die Bewegungen aller ihrer Teile nicht in gleicher Periode und bei jedem Teile in der richtigen Phase erfolgte. Hier wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß die verschiedenen Teile miteinander zwangläufig verbunden sind, so daß gar keine anderen Bewegungen, als die zweckmäßigen, möglich sind. Solche zwangläufige Verbindung chemischer Vorgänge sind vielleicht auch beim Organismus vorhanden; sie stellen sich beispielsweise von selbst her, wenn im Verdauungskanal die für die beabsichtigten Reaktionen erforderlichen Stoffe an verschiedenen, räumlich getrennten Stellen des Kanals abgesondert und dem in einseitiger Richtung vorbeigeführten Speisebrei zugemischt werden. Aber im Innern einer einzelnen Zelle ist eine derartige mechanische Lösung der Aufgabe nicht sehr wahrscheinlich; ohnedies pflegt ja bei den Lebewesen die gleiche Aufgabe je nach den Bedingungen mit sehr verschiedenen Mitteln gelöst zu werden.

Ein weiteres derartiges Mittel ist nun die Regelung der Reaktionsgeschwindigkeiten durch Katalysatoren oder Enzyme. Das Vorkommen solcher Stoffe in den verschiedenen Teilen der Organismen ist bereits Berzelius bekannt gewesen; er und später Ludwig haben die Überzeugung ausgesprochen, daß die Enzyme eine allgemeine und sehr wichtige Rolle im

Organismus spielen. Die neueren Forschungen haben diese Ansicht bestätigt und vertieft. Es scheint wirklich nur wenige Gewebe zu geben, in welchen nicht Enzyme vorhanden wären, und zwar meist eine ganze Anzahl nebeneinander. Während aber jene älteren Forscher, dem damaligen Stande der Wissenschaft entsprechend, den Enzymen wesentlich die Aufgabe zuschrieben, gewisse Reaktionen erst hervorzurufen und damit gewisse Stoffe zu erzeugen, können wir jetzt diese Auffassung noch dahin erweitern und vertiefen, daß die Enzyme auch die erforderlichen Geschwindigkeiten zu regeln haben. Daß hier eine Art Zwangläufigkeit besteht, geht beispielsweise aus den Untersuchungen der letzten Zeit über die Vorgänge beim Keimen von Samen hervor; hier erscheinen nacheinander die Stärke lösenden, oxydierenden, assimilierenden u. s. w. Enzyme in solcher Folge, solcher Menge und an solchen Orten, daß der überaus verwickelte Prozeß der Entwicklung des ganzen Pflänzchens regelmäßig und zweckmäßig verläuft. (58)

Hier erhebt sich nun auch eine fundamentale Frage, die bisher in der Biologie kaum gestellt worden ist, da die erforderlichen Grundlagen von der allgemeinen Chemie erst in jüngster Zeit geschaffen worden sind, die Frage nach der zeitlichen Ordnung der Vorgänge im Organismus. Die räumliche Ordnung hat uns das Mikroskop eröffnet, und ich brauche Ihnen am wenigsten, meine Herren, die Rolle zu schildern, welche dieses Hilfsmittel gespielt hat. Gewisse, auf die Zeit bezügliche Fragen, insbesondere die der Entwicklungsgeschichte, haben auch die Biologie seit jeher beschäftigt. Aber die zeitliche Mikroskopie, wenn ich das Wort brauchen darf, die Analyse dessen, was während des Lebens in jedem Augenblicke geschieht, insbesondere die zeitliche Mikroskopie der chemischen Vorgänge ist eine Aufgabe, für deren Lösung noch sehr wenig hat geschehen können, und die doch gelöst werden muß, wenn man ernstlich an die Lösung der tieferen Probleme gehen will, die uns das Leben bietet.

Wo und wie diese Aufgaben anzufassen sind, werden Sie vermutlich besser erkennen können, als ich; wahrscheinlich am besten von möglichst verschiedenen Seiten zugleich, denn das Problem ist von einer unübersehbaren Mannigfaltigkeit. Da ich selbst mich nie mit der Bearbeitung biologischer Aufgaben beschäftigt habe, so darf ich nicht wagen, den Fachmännern gegenüber bestimmte Vorschläge zu machen; das einzige, was ich tun kann, ist die Hervorhebung allgemeiner Gesichtspunkte, die sich aus der Betrachtung der allgemeinen Wissenschaftlehre ergeben. Das hier vorliegende Problem der Koordination einer großen Anzahl verschiedener Geschehnisse zu einem stationären Gesamtgebilde tritt bei den früheren Wissenschaften bis zur Chemie kaum auf und wird dann meist durch das Prinzip der Addition, bez. Superposition gelöst. Das heißt, das gesamte, an dem betrachteten Punkte verlaufende Geschehnis läßt sich als die Summe der einzelnen Geschehnisse darstellen, wobei jedes der letzteren seinen Anteil an dem Ergebnis so beibringt, als wären die anderen nicht vorhanden. So kreuzen sich die Luftwellen der Töne in der mannigfaltigsten Weise, ohne sich zu verwirren, und ebenso spielen über die Oberfläche des Meeres zwei, drei oder noch mehr Wellenzüge in verschiedener Richtung, und jeder von ihnen behält seine Ordnung und seinen Charakter. Aber hier erkennt man bereits die Grenzen für die Anwendbarkeit des Prinzips: wenn die große Welle sich überschlägt, so verschwinden in der Brandung die kleineren auf Nimmerwiedersehen. Dies liegt daran, daß die Wellenformen nur bis zu einer gewissen Grenze stabil sind. Wird diese überschritten, so wandeln sich die vorhandenen Energien in andere um, und das Superpositionsprinzip gibt keine eindeutige Antwort mehr.

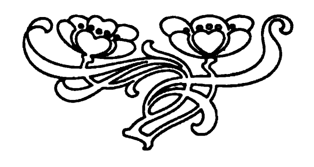
Diese letzte Art der Reaktion ist nun allgemein bei Organismen vorhanden. Kleine Änderungen an einem Faktor eines gegebenen Zustandes werden zunächst proportionale kleine Änderungen in den anderen Faktoren hervorbringen, aber es wird nur in den seltensten Fällen eine Superposition nachweis-

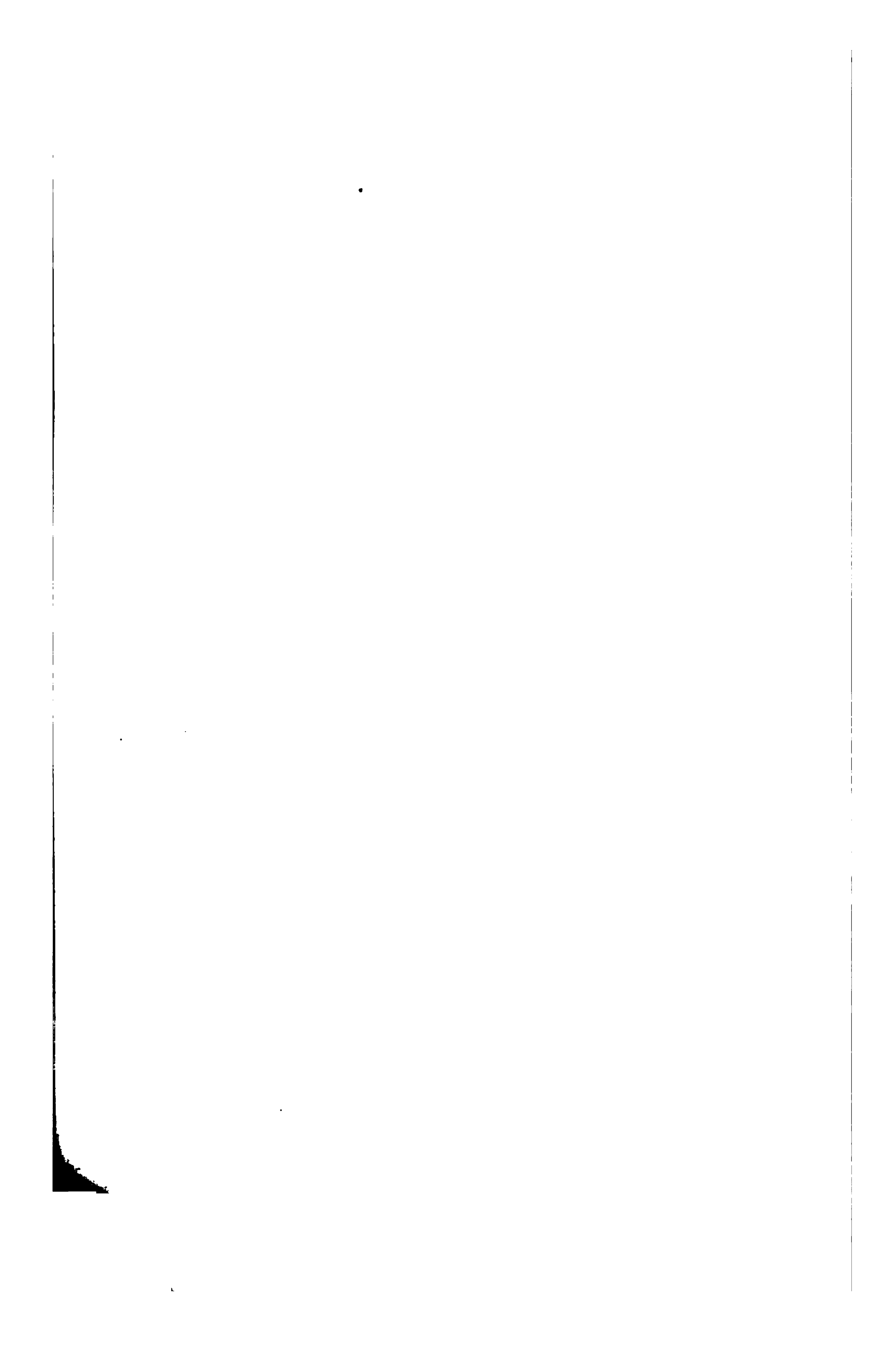
bar sein. Wenn man eine Saite schwingen läßt, so wird eine Änderung ihrer Temperatur zwar eine Änderung der Tonhöhe hervorrufen, aber diese ist einfach das Ergebnis der Änderung der Elastizität der Saite und mit der Bestimmung dieses Faktors ist die Aufgabe erledigt. Erhöht man die Temperatur eines Organismus, so findet nicht nur die entsprechende Änderung der physikalischen Eigenschaften der Gewebe statt, sondern es ändert sich gleichzeitig die Reaktionsgeschwindigkeit aller chemischen Vorgänge, die in ihnen verlaufen, und zwar für jede Reaktion in anderer Weise. Dadurch wird alsbald das Verhältnis geändert, nach welchem diese Reaktionen ineinandergreifen, und es kann geschehen, daß durch geringe Einflüsse solcher Art an irgend einer Stelle die Grenze überschritten wird, innerhalb deren der Organismus ein stationäres Gebilde bleibt; dann tritt der Tod ein. Es scheint mir zweifellos, daß, wie ich es schon vor mehreren Jahren ausgesprochen habe, die auffallend sorgfältige und feine Selbstregulierung der höheren Säugetiere, wodurch diese Thermostaten von auffallender Konstanz geworden sind, in der Notwendigkeit ihren Grund hat, die Verhältnisse der chemischen Reaktionsgeschwindigkeiten zum Zwecke des normalen Ablaufes der Lebensvorgänge konstant zu halten.

Hier, in dem Koordinationsproblem, scheint mir nun die wichtigste Seite jener allgemeinen, auf die Zeit bezüglichen Aufgaben der Biologie zu liegen. Hierin liegen auch gleichzeitig die Erscheinungen, welche Begriffsbildungen neuer Art zu ihrer gedanklichen Bewältigung erfordern, welche in den allgemeineren Wissenschaften bis zur Chemie nicht erforderlich sind. In diesen Gebieten wird die Biologie als autonome Wissenschaft herrschen, allerdings nicht unabhängig von Chemie und Physik, sondern innerhalb der durch sie gegebenen Grenzen des empirisch Möglichen.

Diese Grenzen und Bedingungen aber muß der Biologe kennen und einhalten, wenn er seine Aufgaben lösen will; er

muß die Mittel und Wege der allgemeinen Chemie und Physik kennen, wenn er die Mittel und Wege des Organismus begreifen will. Und dies führt uns wieder zu der Hauptfrage zurück, wegen deren wir die ganze Betrachtung unternommen haben, die Frage: welcher Wind weht eben jetzt auf dem Meere der Wissenschaft? Die Antwort lautet wie schon einmal: ein synthetischer. Die schönsten und reichsten Ergebnisse lassen sich dort erwarten, wo die verschiedenen Wissenschaften zu gegenseitiger Förderung ineinandergreifen. Und darum sehen Sie, weshalb ich unserem Schiffe die glücklichste Fahrt habe in Aussicht stellen können. Die Richtung, welche sich durch Beobachtung von einem so hoch gewählten Standpunktes ergab, als ich ihn nur erklimmen konnte, ist dieselbe, die der Führer des Schiffes seit vielen Jahren bereits verfolgt hat. Er braucht nur den gewohnten Kurs zu steuern, um das Beste zu erreichen, was man hoffen darf, und so bleibt uns nur übrig, ihm und seiner Mannschaft „glückliche Reise" zuzurufen.





IV

TECHNIK UND VOLKSWIRTSCHAFT



1

ÜBER WISSENSCHAFTLICHE UND TECHNISCHE BILDUNG

(Vorgetragen auf der vierten Hauptversammlung der Deutschen Elektrochemischen Gesellschaft am 22. Juni 1897 in München.)



Es ist heute das dritte Mal, daß ich die Ehre habe, vor der Jahresversammlung der Deutschen Elektrochemischen Gesellschaft zu sprechen, und es hat sich für den Inhalt meiner Erörterungen eine Art Programm herausgebildet, auf das ich mit einigen Worten hinweisen möchte. Zuerst bat ich Sie, mich in die ersten Anfänge der Geschichte unserer Wissenschaft zu begleiten, um das Andenken eines viel zu wenig gekannten deutschen Forschers, Wilhelm Ritters, zu ehren. Dasselbe München, dessen Gastlichkeit wir heute mit Dank erfahren, hat sich damals auch dem heimatlosen Forscher gegenüber gastlich erwiesen, und in dieser Stadt war es, wo der nimmermüde Mann, der unter den dürftigsten Verhältnissen seine Entdeckungen hat machen müssen, die letzten Jahre seines kurzen Lebens sorgenfrei verbringen durfte. Das zweite Mal handelte es sich wieder um Geschichte, die Geschichte eines der wichtigsten Probleme unseres Gebietes, des Problems der Berührungselektrizität. (59) Sie führte uns über die ganze Entwicklungszeit der Elektrochemie bis auf unsere Tage. Auch heute bitte ich um die Erlaubnis, einen geschichtlichen Gegenstand behandeln zu dürfen; in regelrechtem Fortschritt

ist es aber ein Gegenstand, der nicht der Vergangenheit und Gegenwart, sondern der Zukunft angehört, nicht der Geschichte, wie sie gewesen ist, sondern wie sie sein wird.

Uns allen ist jetzt der Gedanke geläufig geworden, daß in gewissen Gebieten, vor allem in der Chemie, Deutschland das führende Land geworden ist, und zwar ebenso nach der wissenschaftlichen, wie der technischen Seite. Es hat lange gedauert, bis dieser Tatbestand, nachdem er längst vorhanden war, in das allgemeine Bewußtsein seinen Weg gefunden hatte. Wir sind so überaus geneigt, das Fremde zu bewundern, und das Eigene zu bekritteln, daß wir erst lernen mußten, die eigenen Leistungen mit demselben Maßstabe zu messen, den wir so bereitwillig bei anderen anwenden. Und auch den Fremden war diese Auffassung geläufig geworden; erinnere ich mich doch, wie sich ein Ausländer, der sich studienhalber in Deutschland aufhielt, darüber beschwerte, daß ihm überall das Bewußtsein der deutschen Überlegenheit in der Chemie unangenehm aufgefallen sei. Auf meine Bemerkung, daß diese Überlegenheit ja doch eine Tatsache sei, sagte er: das ist schon wahr, aber sie sollen es nicht sagen!

Infolge dieser Überlegenheit, insbesondere auch in dem technischen Gebiete, haben in den zunächst beteiligten Nachbarländern England und Frankreich eingehende Erörterungen darüber stattgefunden, auf welche Ursache sie zurückzuführen sei. Das Ergebnis ist ein nahezu einstimmiges: als erste und wesentlichste Ursache wurden die Vorzüge in der Ausbildung unserer Chemiker erkannt. Diese Vorzüge liegen aber, wie gleichzeitig hervortrat, wesentlich nach der wissenschaftlichen Seite, nicht nach der technischen; denn für diese ist in den genannten Ländern bestens gesorgt, und namentlich in England hat die sogenannte praktische Seite des technischen Unterrichtes von jeher die sorgfältigste Pflege erfahren.

Diese vorwiegend wissenschaftliche Ausbildung des deutschen Technikers kommt nach zwei Richtungen zur Geltung. Einmal

sind es die im Betriebe beschäftigten angestellten Chemiker, deren bessere wissenschaftliche Ausbildung sie leistungsfähiger in einem Sinne macht, den wir noch eingehend zu erörtern haben. Dann aber, und diesen Gesichtspunkt möchte ich alsbald zur Geltung bringen, sind die Besitzer und Leiter der chemischen Werke mit der Wissenschaft und ihrer Bedeutung für die Technik bekannt und vertraut. Haben sie nicht selbst eine rein wissenschaftliche Ausbildung genossen, so haben sie sich doch ein sicheres Urteil über ihre Bedeutung erworben, und ihre Bereitwilligkeit, sich nicht nur der Ergebnisse der Wissenschaft zu bedienen, sondern auch diese selbst dann zu fördern, wenn gar keine unmittelbare Aussicht auf technische Verwertung der Ergebnisse vorhanden ist, erregt das Staunen der Fremden und den Dank der Beteiligten; ist doch die Schlußbemerkung so vieler in unseren wissenschaftlichen Zeitschriften erscheinenden Arbeiten, daß die Untersuchung ohne die uneigennützige Hilfe der oder jener Fabrik nicht hätte ausgeführt werden können, bei uns schon so häufig geworden, daß sie fast als selbstverständlich angesehen wird.

Diese Wechselbeziehung aber ist für das Aufblühen der Chemie ganz wesentlich geworden. Auch in den anderen Ländern gibt es hervorragende junge Chemiker, die gern der Technik ihre Kräfte widmen würden; die Technik aber mag sie nicht. Mir ist von englischen Kollegen gesagt worden, daß sie fast Gewissensbisse empfinden, einen begabten Schüler in eine weiteraussehende wissenschaftliche Arbeit eintreten zu lassen, denn sie müssen fürchten, ihn in eine Richtung zu lenken, in der er nur schwer seinen Lebensunterhalt finden kann. In Deutschland ist das anders; kann bei uns der „Herr Doktor“ eine belangreiche wissenschaftliche Arbeit aufweisen, um so besser, – um so eher steht ihm eine auskömmliche Stellung in der Technik zu Gebote. Ich habe in dieser Beziehung persönlich die überraschendsten Dinge erlebt. Bei der Auswahl der Probleme, die meine jungen Arbeitsgenossen be-

handeln, lasse ich mich ausschließlich durch die Bedürfnisse der Wissenschaft, wie ich sie verstehe, leiten, und habe dabei anfangs auch ähnliche Gefühle gehabt, wie ich sie eben geschildert habe. Gegenwärtig habe ich solche Gefühle nicht mehr, denn ich habe mich inzwischen überzeugen können, daß auch die scheinbar fernstliegenden Dinge an irgend einer Stelle mit unserer reich entwickelten Industrie in Berührung stehen, und oft genug ist mir auf meine etwas zögernde Angabe: dies oder das sind die Dinge, über die er gearbeitet hat, die Antwort geworden: das ist gerade unser Mann!

Ziehen wir die Summe dieser Betrachtungen, so wird es uns klar, daß die bessere wissenschaftliche Bildung nicht nur der Betriebschemiker, sondern auch der Leiter der Werke die wichtigste Quelle unseres Gedeihens ist.

An diesem Punkte erhebt sich aber die Frage, ob denn nicht in den Nachbarländern genügend für die wissenschaftliche Ausbildung der Chemiker gesorgt sei? Sehen wir doch, daß in England wie in Frankreich ein ausgedehntes und stetig gehandhabtes Examinationssystem jeden einzelnen Schritt des Studierenden zu regeln und zu sichern bemüht ist. Vergleichen wir damit den vollständigen Mangel einheitlicher Regelung des chemischen Unterrichtes an unseren Hochschulen, wo in der Tat jeder Professor nach eigenem Gutdünken den Umfang von Kenntnissen und Leistungen bestimmt, mit denen er den Studierenden sein Studium abschließen läßt, so scheint der Vorzug der Methode gerade auf Seiten des Auslandes zu liegen. Man kann ja noch einwenden, daß das Examinationssystem in England zu einem unglaublich leeren Papier- und Formelwesen ausgeartet ist, und daher seinen Zweck verfehlt. Aber in Frankreich ist das nicht der Fall; dort werden die Prüfungen wirklich sachgemäß gehandhabt, und ihr Bestehen verbürgt ein sehr achtungswertes Maß an reellen Kenntnissen. Wie kommt es, daß dort der Erfolg in der Industrie ausgeblieben ist, während wir ihn mit unserem gänzlich unsystematischen System erlangt haben?

Die Antwort ist, daß gerade unser Mangel eines vorgeschriebenen Systems, unsere Freiheit der wissenschaftlichen Entwicklung des Studierenden das Geheimnis unserer Erfolge bildet.

Ein überaus lehrreiches Experiment in dieser Richtung, das im größten Maßstabe ausgeführt worden ist, bietet uns die Entwicklung Frankreichs dar.

Es ist bekannt, wie durch die große Bewegung der französischen Revolution mit überraschender Plötzlichkeit eine ganze Anzahl bedeutendster Naturforscher an das Licht befördert worden ist, und daß die Zeiten, in welchen Frankreich am unbestrittensten die wissenschaftliche Führung besaß, durch diese Männer bezeichnet sind. Dem ersten Napoleon waren die großen Dienste, welche diese Männer dem Lande leisteten, klar ersichtlich geworden, und nach seiner Weise gedachte er dies zu organisieren, indem er die wissenschaftliche Bildung zentralisierte. Die Erfolge des Systems blieben nicht aus, zunächst die guten, dann aber die schlimmen. Die Schulung war gesichert, aber auf Kosten der Entwicklung.

Wem das Urteil zu hart erscheint, der vergegenwärtige sich den Unterschied zwischen einst und jetzt. Ein Liebig mußte nach Paris gehen, um wissenschaftliche Chemie zu studieren; — welchem Deutschen fällt es heute ein, Chemie in Paris studieren zu wollen? Nicht weil es nicht hervorragende Männer dieser Wissenschaft noch heute in Paris gäbe; daß sie vorhanden sind, ist ja aller Welt bekannt. Aber ihre Art, Wissenschaft zu treiben, entspricht nicht dem Bedürfnis der Zeit; sie leben mit ihren Problemen und Anschauungen zum größeren Teil in Gebieten, die bei uns bereits in den Hintergrund getreten sind. Ich beeile mich, hervorzuheben, daß es glänzende Ausnahmen hiervon gibt, aber es sind Ausnahmen. Der Forscher, den ich dort für den bedeutendsten in meinem besonderen Gebiete halten muß — ich will den Namen nicht nennen, um ihn nicht zu schaden — spielt dort gar keine Rolle, und sein Name ist am Orte fast unbekannt.

Will man statt des subjektiven Urteils ein objektives Zeugnis, so braucht man sich nur dessen zu erinnern, daß erst vor wenigen Jahren die Vorschrift, daß bei der offiziellen Prüfung in der Chemie an einigen der wichtigsten Institute die in der übrigen Welt längst verlassene Gmelinsche Äquivalent-Notation beizubehalten sei, aufgehoben wurde. Wie erklärt sich dieser Ultrakonversatismus in der Wissenschaft bei diesem politisch so radikalen Volke? Er erklärt sich daraus, daß jeder Gelehrte, wenn er ein wissenschaftliches Lehramt bekleiden will, nur über eine lange Stufenleiter von Examen zu seinem Ziel kommt. Hat man den besten und arbeitsfreudigsten Teil seines Lebens damit zugebracht, die Gedanken anderer sich zu eigen zu machen, so gehört in der Tat eine besondere Energie dazu, sich in einer verhältnismäßig späten Zeit seines Lebens der Entwicklung und Prüfung eigener Gedanken mit Erfolg hinzugeben. Und es ist selbstverständlich, daß ein so erzogener Lehrer auch unwillkürlich den Schwerpunkt seines Unterrichtes dahin legt, auch seine Schüler zur erfolgreichen Bestehung des Examens anzuleiten, und sie nicht mit Dingen behelligt, die außerhalb dieses Kreises liegen, namentlich nicht mit solchen, deren Bedeutung in der Wissenschaft noch nicht allgemein anerkannt ist.

Auf diesem Umstande beruhen auch die charakteristischen Eigentümlichkeiten der französischen Lehrbücher, welche so überaus klar über das Auskunft geben, was in der Wissenschaft allgemein anerkannt ist, die aber immer den Eindruck machen, als sei nun alles schon fertig, und nichts neues mehr zu schaffen.

Ganz anders sind unsere Verhältnisse. Wenn wir Lehrer der Hochschulen uns der ausgestandenen Prüfungen erinnern, so ist das letzte große Ereignis solcher Art in unserem Leben die Abiturientenprüfung gewesen. Was hernach gekommen ist, das Doktorexamen und das Habilitationskolloquium, hat wohl nur angenehme Erinnerungen hinterlassen, denn unsere Pro-

fessoren waren gegen uns „kolossal nett“ gewesen. Ich glaube, dies letztere ist eine ziemlich allgemeine Erfahrung, und sie liegt im Wesen der Sache. Haben wir in unseren jungen Jahren Spuren von selbständigem Denken und den daraus mit Notwendigkeit entspringenden Eifer gezeigt, so haben unsere Lehrer im Laboratorium reichlich genug Gelegenheit gehabt, zu sehen, was an uns ist, und das Examen hat mehr den Charakter eines äußeren Abschlusses der Studienzeit, als den einer wirklichen Prüfung. Denn als Grundlage für die Beurteilung der Tüchtigkeit des Kandidaten braucht es kaum zu dienen, diese hatte sich viel sicherer aus der Arbeit selbst ergeben.

Mit dieser Freiheit gegenüber dem Examen war für uns alle eine andere Freiheit verbunden, die wir alle als das köstlichste Gut unserer wissenschaftlichen Lehrjahre schätzen: die Freiheit der persönlichen Entwicklung. An selbst gewählter Arbeit die jungen Kräfte zu versuchen — wem wird nicht wieder das Herz frisch bei der Erinnerung an jene Zeit, wo die größten Dinge nur eben groß genug waren, um von uns entdeckt zu werden, wo der kleinste Erfolg uns freute und keine Enttäuschung abschreckte.

Man wird vielleicht sagen, daß ein solcher Entwicklungsgang, bei dem der junge Chemiker bereits früh an einen Punkt geführt wird, wo das unendliche Meer des Unbekannten sich vor ihm auftut, für den künftigen Gelehrten zwar sehr ersprießlich sein möge, daß aber für den künftigen Techniker die Sache noch anders läge. Hier handele es sich vielmehr um eine gründliche Kenntnis der Grundwahrheiten, als um die Einführung in ganz spezielle Fragen, über deren Bedeutung der lehrende Professor regelmäßig weit sanguinischere Ansichten zu haben pflegt, als seine sämtlichen Kollegen.

Will man sich auf diesen Standpunkt stellen, so findet man in dem französischen System sein Ideal verwirklicht. Vermöge des Prüfungsganges wird dem Schüler ein zwar genau

vorgeschriebenes, aber doch sachgemäß ausgewähltes, umfassendes und geordnetes Wissen vermittelt. Wie kommt es nur, daß der so gebildete Chemiker seinem Vaterlande nicht dieselben Dienste leistet, wie der deutsche?

Die Antwort liegt darin, daß Leistungen, wie sie auf der geschilderten Ausbildung beruhen, heute der Industrie nicht mehr genügen. Sie braucht mehr und verlangt mehr.

Aus vier Gebieten der Wissenschaft nimmt die Technik ihre Hilfsmittel: der Mechanik, der Physik, der Chemie und der Biologie. Die Anwendung der Hilfsmittel hat in der angegebenen Reihenfolge stattgefunden. Während im Altertume bis zu relativ neuen Zeiten mechanische Erfindungen die Fortschritte der Technik kennzeichneten, trat seit dem Beginn des Jahrhunderts mit der Ausbildung der Dampfmaschine zunächst die Physik in den Vordergrund. Die technische Ausbeutung der schwierigeren chemischen Vorgänge hat ihre eigentliche Entwicklung erst seit drei oder vier Jahrzehnten begonnen und ist gegenwärtig noch im schnellsten Fortschritt begriffen. Diese große technische Jugend der Chemie ist die natürliche Folge ihrer wissenschaftlichen Jugend, und gerade hier ist demgemäß die Technik der Wissenschaft näher geblieben, als in einem früheren Falle. Dieser Umstand, mit dem auch der unvergleichlich viel größere Reichtum an neuen und unerwarteten Tatsachen zusammenhängt, bewirkte, daß hier ein unverhältnismäßig großer Einfluß neuer Entdeckungen auf den technischen und wirtschaftlichen Erfolg besteht, denn sie können in jedem Augenblicke eine vollständige Umwertung vorhandener Werte bewirken. Ein wohlbekanntes Beispiel dafür ist die Vernichtung des Krappbaues durch die Entdeckung des künstlichen Alizarins, die Einführung des Ammoniaksodaprozesses, und aus unserem eigensten Gebiete die Aluminiumindustrie und die im Gange befindliche Umwälzung der Alkali- und Chlorkalkindustrie durch elektrochemische Prozesse. (60)

Die unmittelbare Folge dieser Eigentümlichkeit ist, daß die erfindende Tätigkeit in der chemischen Technik eine viel größere Rolle spielt und auf den kommerziellen Erfolg einen viel größeren Einfluß übt, als in den anderen Gebieten. In weit höherem Maße, als z. B. im Konstruktionsbureau einer Maschinenbauanstalt wird im Laboratorium der chemischen Fabrik die Auffindung neuer Objekte betrieben. Hier ist die Art der Arbeit von der des Forschers im wissenschaftlichen Laboratorium nur durch den Zweck, nicht durch die Methode unterschieden, und dadurch hat sich die kulturgeschichtlich bemerkenswerte Tatsache entwickelt, daß in den chemischen Fabriken die Erfindertätigkeit als solche kommerziell organisiert ist.

Für solche Arbeit aber taugt nicht der Mann, der nur gelernt hat, Bekanntes sachgemäß anzuwenden, denn was er können muß, ist das Vordringen in unbekannte Gebiete; es taugt dazu nicht der examinierte Kandidat, sondern der an eigene Forschung gewöhnte Chemiker.

Diesem Bedürfnisse der Technik hat sich nun der übliche Studiengang des deutschen Chemikers auf das beste angepaßt, oder vielmehr beide haben sich an- und durcheinander auf das glücklichste entwickelt. Die unmittelbare Aufgabe der Hochschule, den Schüler durch die Beherrschnng des Bekannten zur Eroberung des Unbekannten zu führen, braucht nur sachgemäß erfüllt zu werden, um der Technik die Hilfskräfte zu liefern, die sie brauchte: ja gerade die leichte Zugänglichkeit der wissenschaftlich ausgebildeten Hilfskräfte in Deutschland hat die Technik in den Stand gesetzt, den eben geschilderten Weg zu gehen. Und die Wahrung dieses Verhältnisses ist der Nerv unserer Erfolge. Fürst Bismarck hat einmal bezüglich der Nachahmung deutscher Heereseinrichtungen geäußert: So lange sie unseren Sekondeleutnant nicht nachmachen können, habe ich keine Sorge. Auch für unser Gebiet gilt ein ähnliches Wort: So lange sie unseren Dr. phil. nicht nachmachen können, behalten wir die Oberhand.

Gegenüber diesem von allen Seiten zugegebenen glänzenden Stande unserer chemischen Technik und der ausgezeichneten Beschaffenheit ihrer Hilfskräfte berührt es seltsam, daß gerade in letzter Zeit eine Bewegung sich geltend gemacht hat, durch welche eine fundamentale Änderung in dem bewährten Ausbildungsgange des Chemikers bewirkt werden soll: ich meine die Bewegung für die Einführung eines Staatsexamens für Chemiker. Als ich im vorigen Sommer nach längerer Abwesenheit von Deutschland heimkehrte, und diese Bewegung im lebhaftesten Gange fand, war ich förmlich erschrocken. Denn ich war eben in England gewesen, wo ich die angesehensten und einsichtigsten Fachgenossen in eifriger Arbeit gefunden hatte, mit ihrem allseitig als schädlich erkannten Prüfungssystem aufzuräumen, und ich hatte im Interesse der Wissenschaft soviel ich konnte, getan, um ihnen dabei zu helfen. Und in Deutschland, wo wir, wie allgemein anerkannt, bessere Erfolge erreicht hatten, als irgend ein anderes Volk, sind wir im Begriffe, den Fehler zu begehen, den die Engländer mit dem Verluste ihrer Vorherrschaft haben bezahlen müssen!

Während die französischen Universitäten endlich den wichtigsten Schritt zur Annäherung an das deutsche Muster durch die Erringung ihrer Unabhängigkeit getan haben, und im Begriffe sind, ihre Schüler zur deutschen Lernfreiheit heranzubilden, wollen wir den Schritt zurücktun, aus der Freiheit in die Gebundenheit, aus der Bildung wissenschaftlicher Forscher in die Drillung zuverlässiger Arbeiter.

Meine Herren! Ich weiß, daß ich mich mit diesen Worten in Gegensatz stelle zu der Meinung der Mehrzahl der Männer, die sich in dieser Sache bisher haben vernehmen lassen, ja zu dem, was mein nächster Kollege in der Wissenschaft und mein nächster Kollege in unserer Gesellschaft — zwei Männer, die Freunde zu nennen ich die Ehre habe — vertreten. Aber hier steht mehr auf dem Spiele, als persönliche Beziehungen, die ja ohnedies durch sachliche Meinungsverschiedenheiten

nicht getrübt werden sollen, hier handelt es sich um die Zukunft unserer Wissenschaft und unseres Volkes, und da müßte ich es als eine grobe Pflichtverletzung ansehen, wenn ich nicht alle anderen Rücksichten beiseite setzte, um das zur Geltung zu bringen, was eine lange Beschäftigung mit dem Gegenstande, Nachdenken und Erfahrung mich sehen lassen. Es ist ein Ding um rein wissenschaftliche Ansichten, die man der klärenden Wirkung der Zeit überlassen kann, auch wenn man im Gegensatze zu der Tagesmeinung das Rechte gefunden zu haben glaubt, und ein anderes Ding um Fragen von unmittelbarer Bedeutung für die wirtschaftliche und wissenschaftliche Entwicklung der Nation: dort kommt es auf die Zeit, innerhalb deren die Erkenntnis durchdringt, nicht viel an, hier aber alles. Und deshalb, meine Herren, wenn Sie geneigt sind, irgendwelchen Wert auf eine Überzeugung zu legen, die das Ergebnis langer und liebevoller Beschäftigung mit der Frage der wissenschaftlichen Erziehung ist, so möchte ich Ihnen mit aller Wärme, deren ich fähig bin, an das Herz legen: widersetzen Sie sich dieser Bewegung aus allen Kräften, verhindern Sie, daß durch gutgemeinte, aber in ihrer Tragweite nicht übersehbare Maßregeln ein blühender Zustand, der Stolz und Gewinn unseres Volkes, auf das Spiel gesetzt wird. (61)

Sie werden sagen: wozu die Erregung? Wir wollen doch nur festigen, was vorhanden ist, wir wollen nur durch das Examen feststellen, daß die Studierenden wirklich das gelernt haben, was die Professoren sie lehren wollen. Ich muß antworten: dazu ist ein Examen gar nicht im stande.

Wir haben vorher gesehen, was die wichtigste Eigenschaft des deutschen Chemikers ist: er hat gelernt, wie man ungelöste Probleme bewältigt, wie man aus dem Bekannten in das Unbekannte eindringt. Welche Form der Prüfung gibt es, die uns von dem Vorhandensein einer solchen Fähigkeit überzeugen kann? Offenbar nur die eine, daß man dem Mann eine solche Aufgabe lösen läßt, und ihn dabei beobachtet.

Das kann nicht im Laufe einiger Stunden oder Tage geschehen, denn es setzt die wirkliche Ausführung einer Forschungsarbeit voraus. Eine solche Einrichtung braucht aber nicht erst geschaffen zu werden, denn Sie alle wissen, daß sie in der Gestalt der Doktorarbeit vorhanden ist. Sie ist auch nicht an den Titel gebunden, denn während meiner Tätigkeit am Rigaschen Polytechnikum wurde als wesentlicher Bestandteil der Diplomprüfung eine wissenschaftliche Arbeit eingeführt, und daß es sich dabei nicht um ein persönliches Vorurteil meinerseits gehandelt hat, wird dadurch bewiesen, daß mein Amtsnachfolger die Einrichtung nunmehr zehn Jahre lang beibehalten hat, obwohl es ihm leicht gewesen wäre, sie wieder abzuschaffen, wenn er sie als unzweckmäßig angesehen hätte.

Aber wir wollen ja die wissenschaftliche Arbeit nicht abschaffen, sie bildet ja einen Teil der vorgeschlagenen Prüfungsordnung — wird erwidert werden. Ich muß erwidern, daß sie durch die Prüfungsordnung tatsächlich, wenn nicht abgeschafft, so doch wesentlich abgeschwächt werden wird. Statt aller theoretischen Auseinandersetzungen erinnere ich nur an das Schicksal der medizinischen Doktordissertationen, deren frühere wissenschaftliche Bedeutung seit der Staatsprüfung mehr und mehr in den Hintergrund gedrängt worden ist. Ich will kein Urteil an diese Tatsache knüpfen; es ging vielleicht wegen anderer Zwecke nicht anders. Kann man aber gegenwärtig noch sagen, daß irgend ein wesentlicher Teil der medizinischen Wissenschaft in den Dissertationen enthalten ist? Von den chemischen Dissertationen kann man es sagen.

Ich bin weit entfernt, den gegenwärtigen Zustand des chemischen Unterrichtes, wie er an den Hochschulen erteilt wird, für unverbesserbar zu halten: auch habe ich meinerseits Mühe, und ich darf auch sagen, Opfer daran gewendet, daß er an der Stelle, an der ich zu wirken die Ehre habe, verbessert wird, und zwar ganz besonders nach der Seite der angewandten Chemie, nachdem in der Richtung meines besonderen Lehr-

auftrages, der physikalischen Chemie, das Erforderliche erreicht war. Und ich halte meine Tätigkeit nach dieser Richtung keineswegs für abgeschlossen.

Aber wenn wir verbessern, so sollen wir es auf den Wegen tun, die sich bisher so über alle Erwartung bewährt haben, auf den Wegen des freien Studiums und der wissenschaftlichen Vertiefung. Daß ein Examen dazu das richtige Mittel ist, kann sich vielleicht der Praktiker denken, dessen Erinnerungen an diese Prozedur verblaßt sind, aber nicht der im Lehramt Stehende, dem immer wieder ins Bewußtsein tritt, wie außerordentlich der Ausfall eines Examen von Zufälligkeiten und von Eigenschaften des Kandidaten abhängt, die mit wissenschaftlichen Kenntnissen und Fertigkeiten nur in sehr entferntem Grade verwandt sind. Das Examen ist ein so schlechtes Mittel, um über die wissenschaftliche und inventive Fähigkeit eines Chemikers Auskunft zu erlangen, daß wir es nur anwenden dürften, wenn kein anderes vorhanden ist. Und das Bestehen des Examens ist ganz und gar keine Sicherheit dafür, daß der Kandidat bei der praktischen Arbeit das leistet, was er soll: denn daraufhin kann er ja nicht examiniert werden.

Aber die beklagenswerte Ungleichförmigkeit in der Ausbildung der heutigen Chemiker! höre ich wieder sagen. Ich finde diese Ungleichförmigkeit nicht beklagens-, sondern wünschenswert; zudem ist sie wegen der Beschaffenheit der menschlichen Natur unvermeidlich. Kann man es im Ernste anstreben, von dem jungen Chemiker eine auch nur einigermaßen zulängliche Kenntnis aller der Gebiete zu erwerben, in denen er später möglicherweise tätig sein wird? Bilden wir doch ruhig, jeder ein nach seiner Art Organiker, Analytiker, Elektrochemiker, Physikochemiker, physiologische Chemiker, und wie die Spielarten noch sonst heißen mögen, aus: unsere Schüler werden von den entsprechenden Gebieten der Technik um so lieber aufgenommen werden, und werden sich in dem selbstgewählten Kreise um so glücklicher fühlen. Gerade weil wir in Deutsch-

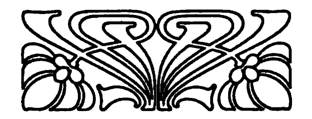
land diesen ausgedehnten Bedarf an Chemikern haben, dürfen wir sie spezialisieren, ohne fürchten zu müssen, ihnen die Zukunft zu verderben.

Aber die Einseitigkeit! höre ich wieder rufen. Das ist auch wieder so ein Wort. Wer von uns ist nicht einseitig! Und gerade in der Technik ist bekanntlich die Einseitigkeit der beste Weg zum Gewinn. Die Natur aber ist überall vollständig, und an welcher Stelle wir uns in sie vertiefen, sie führt uns immer in den Mittelpunkt. Und haben wir sie an einer Stelle soweit erfaßt, daß wir eine Gruppe von Tatsachen wirklich beherrschen, so ist uns diese der Schlüssel zu ungeahnt vielen anderen Dingen, deren Zusammenhang uns nie in den Sinn gekommen wäre. Das kleinste Stückchen Natur, das wir klar erfaßt haben, ist uns ein untrüglicher Weiser und Maßstab, um andere Erkenntnis zu erlangen und zu prüfen. Wenn irgendwo, so gilt hier das Wort: Was du ererbt von deinen Vätern hast, erwirb es, um es zu besitzen. Das Ererbte ist, was wir von unserem Lehrer vernommen haben: wir besitzen es erst, wenn wir es selbst an der Natur erprobt haben, und nicht früher. Solcher Erwerb ist aber der Natur der Sache nach nur an begrenzten Stellen möglich, und darum müssen wir einseitig bleiben.

Schließlich noch ein Gesichtspunkt. Wenn wir examinieren, so dürfen wir es nur in bezug auf den anerkannten Bestand der Wissenschaft; das Neue, noch nicht in den allgemeinen Zusammenhang gebrachte, muß notwendig fortbleiben. Die Technik, nicht minder als die Wissenschaft, bewegt sich aber gerade in diesen neuen Gebieten. Wo soll der junge Chemiker lernen, wie er sich dem Neuen gegenüber verhalten soll, wenn er es nicht während seiner Studienzeit getan hat? Und wie soll er in der Technik vorwärts kommen, wenn er nicht das Neue beurteilen und ergreifen gelernt hat? Ebensowenig wie der, der nur mit der Eisenbahn zu reisen gewohnt ist, jemals neue Länder entdecken wird, so wenig wird der

am Wohlbekannten allein geschulte Chemiker einen technischen Fortschritt bewirken. In der Technik herrscht aber das Gesetz des Erstgekommenen mit grausamer Strenge.

Hochansehnliche Versammlung! Warum ich gerade Ihnen diese Betrachtungen vorlege, wird Ihnen aus ihrem Inhalte verständlich geworden sein. Jeder von Ihnen, der in der Elektrochemie tätig geworden ist, ist es nicht aus seinem Schulsack geworden, sondern dadurch, daß er neue Bahnen gesucht hat. Wo kann ich daher einen Kreis finden, der besser vorbereitet ist, das zu beurteilen, was ich eben darzulegen mich bemüht habe? Und kaum irgendwo konnte besser als in dieser Frage der Leitgedanke unserer Gesellschaft zur Geltung kommen, daß Wissenschaft und Praxis auf das Engste zusammengehören, und die eine von der anderen ebenso zu lernen hat, wie umgekehrt.



2

STICKSTOFF
Eine Lebensfrage

(Zuerst abgedruckt im „Schwäbischen Merkur“ Sommer 1903.)

nter den chemischen Elementen, aus denen sich der Leib der Lebewesen, der niedrigsten wie der höchsten, zusammensetzt, spielt der Stickstoff eine besondere, aristokratische Rolle. Während die anderen Elemente, Sauerstoff, Kohlenstoff, Wasserstoff, Schwefel, Eisen u. s. w. eben so bereitwillig in chemische Verbindungen übergehen, wie sie sich aus ihnen wieder absondern, bildet der Stickstoff nur sehr schwierig Verbindungen und ist sehr geneigt, aus ihnen wieder auszutreten. Ein Ausdruck dieser Eigenschaft ist die Tatsache, daß der freie Stickstoff vier Fünftel der Atmosphäre ausmacht, während der gebundene, der sich meist in der festen und flüssigen Erdrinde befindet, wahrscheinlich weniger als ein Millionteł derselben beträgt.

Nun ist aber die Bedeutung des gebundenen Stickstoffes eine besonders hohe für Krieg und Frieden. Für den Frieden insofern, als von der Menge des gebundenen Stickstoffes, die man einem Felde zuführt, der Ertrag desselben in erster Linie abhängt. Zwar vermögen gewisse niedere Lebewesen den freien Stickstoff der Luft in gebundenen zu verwandeln, indem sie die hierzu erforderliche Arbeit durch die Verbrennung der

von den höheren Pflanzen gelieferten Kohlenstoffverbindungen aufbringen, doch ist ihre Wirkung beschränkt und hat sich trotz der auf diesen Punkt gerichteten Arbeiten bisher nicht erheblich steigern lassen. Man ist also auf die Anwendung gebundenen Stickstoffs angewiesen, den man in Gestalt künstlicher Düngemittel zuführt. Von den verschiedenen Elementen, welche die Pflanze braucht, ist gerade der gebundene Stickstoff im Verhältnisse zum Bedürfnis das teuerste, und die Fruchtbarkeit der Erde könnte viel weitergehend ausgenutzt werden, wenn dem Landwirte gebundener Stickstoff zu niedrigerem Preise zur Verfügung gestellt werden könnte.

Die wichtigste Quelle gebundenen Stickstoffes sind die Salpeterlager in Chile, und der Preis des Salpeters bestimmt zur Zeit noch den Preis der anderen Formen dieses Elementes. Nun sind aber jene Lager nicht unerschöpflich; nach Angaben der chilenischen Regierung reichen sie für einen Bedarf, wie er gegenwärtig ist, noch über vierzig Jahre; nach anderen Angaben kaum über die Hälfte dieser Zeit; hierzu kommt, daß der Bedarf beständig steigt. Damit ist eine Preissteigerung des Salpeters in absehbarer Zeit bedingt, und die Landwirtschaft würde durch die Verteuerung des wichtigsten Kulturmittels gerade in Deutschland einen unerträglichen Druck erfahren.

Neben der Landwirtschaft hat aber an den chilenischen Salpeterlagern noch eine andere Instanz ein Lebensinteresse: die Heeresverwaltung. Ohne Salpeter ist heute das beste Heer nahezu wehrlos, denn alles Schießpulver, vom ehrwürdigen Schwarzpulver bis zu dem modernsten rauchlosen Material, wird direkt oder indirekt aus Salpeter hergestellt und kann auf auf anderem Wege nicht gewonnen werden. Wenn heute ein Krieg zwischen zwei großen Mächten ausbräche, von denen eine in der Lage wäre, die Ausfuhr des Salpeters aus den wenigen Häfen Chiles zu verhindern, so würde sie ihren Gegner dadurch kampfunfähig machen können, daß sie den Krieg solange fortsetzte, bis dieser seine Munition verbraucht hat.

Wenn auch zur Zeit dieser Umstand für Deutschland nicht sehr bedrohlich ist, da vermöge der Bedürfnisse der Landwirtschaft und der chemischen Industrie die Vorräte an Salpeter im Lande so groß sind, daß auch erhebliche kriegerische Anforderungen aus ihnen gedeckt werden könnten, so wird sich dies Verhältnis doch verschieben, wenn die chilenischen Lager sich der Erschöpfung nähern. Die Landwirtschaft ist nicht auf die Anwendung des Salpeters für ihre Zwecke beschränkt; sie kann auch andere Formen gebundenen Stickstoffes, insbesondere das Ammoniak benutzen, und daß solche Verbindungen noch in sehr großen Mengen zugänglich sind, soll alsbald gezeigt werden. Aber für Schieß- und Sprengstoffe ist der Salpeter, bezw. die Salpetersäure als Ausgangsstoff unentbehrlich, und da außer den chilenischen Lagern kein irgendwie erhebliches Vorkommen des Salpeters bekannt ist, so liegt hier allerdings ein Problem vor, dessen baldige Lösung notwendig ist.

Die unmittelbarste Lösung des Problems wäre, den freien Stickstoff der Luft in gebundenen überzuführen. Daß dies möglich ist, hat bereits vor über hundert Jahren Cavendish gezeigt, der durch den elektrischen Funken Salpetersäure aus atmosphärischer Luft gewann. Aber bis auf den heutigen Tag hat sich dieses Experiment trotz der ins Ungeheure gesteigerten Hilfsmittel der Elektrotechnik nicht in industriell brauchbare Gestalt bringen lassen: die Ausbeute an gebundenem Stickstoff steht noch in zu ungünstigem Verhältnisse zu dem Aufwande an elektrischer Energie, und auch die am Niagara für derartige Zwecke errichtete Fabrik ist zur Zeit still gestellt. Daß auf diesem Wege das Problem über kurz oder lang gelöst werden wird, muß als sehr wahrscheinlich bezeichnet werden; wann aber der richtige Weg gefunden sein wird, läßt sich nicht voraussagen. (62)

Ein anderer, zur Zeit viel gangbarerer Weg liegt in der Nutzbarmachung der in der Natur außer dem Salpeter vorkommenden Stickstoffverbindungen. Diese haben im Gegensatz

zum Chilesalpeter, dessen Ansammlung auf ganz ungewöhnliche geologische und klimatische Verhältnisse zurückzuführen ist, alle die Eigentümlichkeit, daß sie nur als spärliche Beimischungen neben großen Mengen anderer Stoffe anzutreffen sind. Es wird also nur in wenigen Fällen lohnend sein, derartige Vorkommen unmittelbar auf Stickstoffverbindungen zu verarbeiten.* Wohl aber kann man sein Augenmerk darauf richten, die bei anderen technischen Prozessen verfügbar werdenden Mengen gebundenen Stickstoffes zu sammeln und der Verwertung zuzuführen.

Bei weitem der wichtigste derartige Fall ist der der fossilen Kohlen. In diesen ist etwa ein Prozent Stickstoff enthalten, und selbst wenn nur ein Zehntel dieses Stickstoffes als Ammoniak gewonnen würde, so würde dies schon rund das Zehnfache des gebundenen Stickstoffes betragen, welchen die Landwirtschaft gegenwärtig verbraucht.

Die Ammoniakgewinnung aus fossiler Kohle hat zur Voraussetzung, daß diese nicht wie gewöhnlich im Ofen verbrannt wird, sondern daß sie durch Erhitzung unter vollständigem oder teilweisem Abschluß der Luft vergast wird. Infolgedessen gibt es gegenwärtig zwei Hauptquellen des Ammoniaks aus Kohlen: die Fabrikation des Leuchtgases und die der Koks. Die auf solche Weise gewonnenen Mengen gebundenen Stickstoffs bilden in Deutschland ungefähr den vierten oder dritten Teil der von der Landwirtschaft verbrauchten Menge; bei weitem der größere Teil des Stickstoffdüngers wird noch in Gestalt von Chilesalpeter angewendet.

Die Steigerung der Ausgiebigkeit dieser Quelle hängt also davon ab, daß noch andere Verwendungen der Kohle gefunden werden, bei denen eine vorangehende Vergasung notwendig oder lohnend ist. Eine solche ist durch die neueste Entwick-

* Ein derartiges genügend reiches Vorkommen scheint sich im Seeschlick zu finden, der an gewissen Orten bis zu 3% der lufttrockenen Substanz Stickstoffgehalt zeigt.

lung der Gaskraftmaschinen gegeben. Während bisher die von der Industrie benutzte mechanische Arbeit mit Hilfe der Dampfmaschinen erzeugt wurde, deren Kesselfeuerung auf unmittelbarer Verbrennung der Kohle beruht, beginnt diese gegenwärtig durch die Gaskraftmaschine verdrängt zu werden, für welche neben dem Fortfall des gefährlichen und viel Raum beanspruchenden Dampfkessels noch der erheblich größere Nutzeffekt an erzielter Arbeit spricht. Bei dieser Anwendung nun bietet sich Gelegenheit, die erforderliche Vergasung der Kohle so zu leiten, daß der vorhandene Stickstoff wenigstens zum Teil in verbundener Form, d. h. als Ammoniak gewonnen wird.

Überlegt man, daß für die Fortleitung und Verteilung der mechanischen Arbeit nichts geeigneter ist, als die Zwischenherstellung elektrischer Energie, so übersieht man, daß schon mit den gegenwärtig verfügbaren Mitteln ein ganz wesentlicher Umschwung in der äußeren Gestaltung der Industrie und damit in der der Städte erzielt werden kann. Wenn an der Peripherie der Stadt Zentralen errichtet werden, in denen die Kohle zunächst vergast, und dann mittelst Gasmaschinen zur Erzeugung von elektrischem Strom verwendet wird, den man in die Stadt leitet und dort in mechanische Arbeit verwandelt, so fällt damit der größte Teil des Kohlebedarfs im Inneren der Stadt fort, und damit hört der größte Teil der Rauchbelästigung auf, zumal die Gaskraftmaschine überhaupt keinen Rauch gibt. Nur die verhältnismäßig kleine Menge des Brennmaterials, dessen Energie direkt als Wärme verbraucht wird, also wesentlich das Heizmaterial, käme in Gestalt von Kohle in die Stadt, und selbst dieser Anteil ließe sich durch die Herstellung und Abgabe von wohlfeilem Heizgas, unter Umständen auch durch Einrichtung von Heizzentralen auf einen geringen Bruchteil einschränken. So würde endlich eine vollkommen naturgemäße Entwicklung der Technik dazu führen, einen Teil der schweren Schäden, unter denen sie die Bewohner großer Städte leiden macht, wieder zu beseitigen.

Es tritt selten genug ein, daß durch Vorteile, welche eine Gruppe der Bevölkerung erfährt, auch noch gleichzeitig die anderen Gruppen gewinnen. Hier aber würde ein solcher Fall vorliegen: zu der gesteigerten Befriedigung gesundheitlicher Forderungen in den Städten würde sich nicht nur die Beseitigung der Gefahr gesellen, daß der Landwirtschaft ihr wichtigstes Hilfsmittel, der gebundene Stickstoff, durch eine Preissteigerung des Chilesalpeters entzogen wird, sondern es wäre sogar gegründete Hoffnung vorhanden, daß der Stickstoffpreis fällt, und eine gesteigerte Intensität der heimischen Landwirtschaft ermöglicht wird. Überlegt man nämlich, daß England mit seinem ungeheuren Kohlenverbrauch voraussichtlich schon wegen der Rauchfrage den gleichen Weg gehen wird, daß aber die entsprechenden Ammoniakmengen dort nicht von einer ausgedehnten Landwirtschaft aufgenommen werden können, weil es keine mehr gibt, so läßt sich absehen, daß auch von daher weitere große Mengen Ammoniak auf den deutschen Markt geworfen werden, die den Preis des Stickstoffes noch weiter erniedrigen müssen. Schon jetzt geht der größere Teil des in England aus den Gasfabriken u. s. w. gewonnenen Ammoniaks nach Deutschland, um als Düngemittel verwendet zu werden.

Läßt sich demnach die landwirtschaftliche Seite der Stickstofffrage mit einiger Beruhigung ansehen, da sie, wenn auch nicht gelöst, so doch auf dem Wege zur Lösung ist, so bleiben doch noch Zweifel bezüglich der militärischen Seite übrig. Der Landwirtschaft ist es nicht sehr wichtig, ob sie den Stickstoff als Ammoniak oder als Salpeter bekommt; beide Formen sind annähernd gleichwertig und verlangen nur etwas verschiedene Anwendungsweisen. Aber mit Ammoniak kann man kein Schießpulver machen, dazu ist Salpeter oder irgend eine andere Verbindung der Salpetersäure erforderlich. Um also den Kreis der Möglichkeiten auf der vorhandenen Grundlage zu schließen, ist noch die Frage zu erörtern, ob man aus Ammoniak Salpetersäure machen kann.

Auch diese Frage ist seit langer Zeit von der Wissenschaft bejahend beantwortet worden; durch Verbrennen mit überschüssigem Sauerstoff entstehen aus dem Ammoniak Sauerstoffverbindungen des Stickstoffes, unter anderem auch Salpetersäure. Doch war bisher über die Verhältnisse, unter denen die Umwandlung vor sich geht, die Frage, wieviel Salpetersäure gewonnen werden kann u. s. w. nichts genaues bekannt. Die politische Gefahr, welche in der möglichen Verhinderung der Salpeterausfuhr aus Chile für Deutschland zu liegen scheint und welche ich seinerzeit wahrscheinlich weit überschätzt hatte, veranlaßte mich zu Versuchen, jene Fragen zu erörtern und womöglich einen Weg zu finden, um uns in dieser Hinsicht unabhängig von Chile und seinen Schicksalen zu machen. In Herrn Dr. Brauer fand ich einen treuen und unermüdlichen Helfer, ohne dessen aufopfernde Mitarbeit ich die Aufgabe schwerlich so weit hätte fördern können, wie sie jetzt gelangt ist, und unsere Versuche, die im November 1901 begonnen wurden, ergaben sehr bald einerseits die Tatsache, daß eine quantitative Umwandlung des Ammoniaks in Salpetersäure möglich ist, andererseits die Bedingungen, welche zur Erzielung einer solchen Ausbeute eingehalten werden müssen. Nach der verhältnismäßig leichten und schnellen Überwindung der Schwierigkeiten des Laboratoriumsversuches trat die weit mühsamere Aufgabe an uns heran, die Versuche in großen Maßstabe zu wiederholen. Wir verdanken es der tatkräftigen Mitwirkung der Zentralstelle für wissenschaftlich-technische Untersuchungen zu Neubabelsberg, daß wir auch dieses Stadium der Arbeit mit ausreichenden Mitteln haben zurücklegen können, und wir dürfen es gegenwärtig sagen, daß uns kein Hindernis mehr bekannt ist, welches sich der Herstellung der Salpetersäure aus Ammoniak in beliebig großem Maßstabe widersetzen könnte. Allerdings sind die Ausbeuten noch nicht erreicht, welche uns die Laboratoriumsversuche gegeben haben; im Großen gewinnen wir erst drei Viertel der theo-

retischen Menge. Aber gegenüber der Tatsache, daß der Betrieb im großen erst seit sehr kurzer Zeit im Gange ist, und daß daher der Apparat noch in keinem seiner Teile einzeln hat durchgearbeitet werden können, erscheint die Hoffnung nicht vermessen, daß nach nicht allzu langer Zeit auch von dem noch fehlenden Viertel der größere Teil sich wird fassen lassen. (63)

Neben dem Vorteil der Unabhängigkeit unserer Wehrkraft und unserer Industrie von jenem einzigen Punkte der Erdoberfläche, aus welchem bisher die Welt mit Salpeter versehen wurde, bringt die Gewinnung der Salpetersäure aus Ammoniak noch einen anderen Gewinn, der sich namentlich dann geltend machen wird, wenn die erhoffte Verbilligung des Ammoniaks eingetreten sein wird. Ammoniak ist ein gasförmiger Stoff und muß, um es für den Transport geeignet zu machen, in eine feste Form übergeführt werden. Bisher diente hierzu die Schwefelsäure, welche mit Ammoniak ein festes Salz bildet. Hierin ist aber nur ein Viertel des Gewichtes Stickstoff enthalten; die übrigen drei Viertel bilden einen nutzlosen Ballast. Wenn man künftig die Hälfte des Ammoniaks zu Salpetersäure verbrennt, und diese zur Herstellung von festem salpetersauren Ammoniak benutzt, so erspart man zunächst die Ausgabe für die Schwefelsäure; außerdem erhält man ein Düngemittel, das nicht weniger als 35 % Stickstoff enthält, also an Gehalt alle anderen derartigen Stoffe übertrifft. Es wird also auch noch bei der Versendung an Frachtkosten und bei der Anwendung an Transportarbeit gespart. Diese Vorteile werden um so wichtiger werden, je wohlfeiler das Ammoniak selbst wird, da alsdann die genannten Nebenbeträge verhältnismäßig um so mehr ins Gewicht fallen.

Überlegt man, daß alle außerdem noch erkennbaren Quellen von gebundenem Stickstoff, wie z. B. die Abwässer der Städte, organische Abfallstoffe aller Art und dergleichen stets nur Ammoniak, nie Salpetersäure hergeben, und daß bei der Umwandlung dieses meist durch übelriechende Nebenstoffe stark

verunreinigten Ammoniak in Salpetersäure auch eine vollständige Vernichtung jener lästigen Begleiter stattfindet, wobei gleichzeitig auch alle etwa vorhandenen Keime schädlicher Mikroorganismen verbrannt werden, so wird man in der Umwandlung des Ammoniaks in Salpetersäure ein wesentliches und unentbehrliches Glied in der Kette der großen chemischen Vorgänge erkennen, durch die wir unsere Kulturbedürfnisse befriedigen. Diese Umwandlung geht auch im Erdboden vor sich, da die Pflanzen das Ammoniak nicht als solches aufnehmen, sondern erst nachdem es durch die Wirkung der Bodenbakterien in Salpetersäure verwandelt ist. Die eben geschilderten Reinigungsprozesse gehen also auch im Ackerboden vor sich, doch in einer nicht leicht zu regelnden Weise. Es entspricht der Entwicklung der Technik, auch diese wichtigen Vorgänge der Regelung durch den Menschen zu unterwerfen, und sie so zu führen, wie sie für den erstrebten Zweck am angemessensten sind. Das Hilfsmittel, dessen wir uns hier bedienen, ist im Grunde dasselbe, welches von den Bakterien angewendet wird: die Katalyse. Aber die wissenschaftliche Anwendung dieses Hilfsmittels ermöglicht uns, binnen vierundzwanzig Stunden und in kleinen Apparaten die gleiche Arbeit zu tun, für welche die Bakterien in einem Hektar Feld den ganzen Sommer brauchen.

Schließlich seien noch einige allgemeine Betrachtungen gestattet, die sich naturgemäß an das Gesagte anschließen. Deutschland ist ein ackerbauendes Land mit einer mächtig vorwärtsstrebenden Industrie. Die letztere bedroht durch ihre Ausdehnung den Bestand des Ackerbaues, indem sie ihm Kapital, Land und Menschen entzieht. Die Frage, ob die Entwicklung Deutschlands zu einem reinen Industriestaate nach dem Vorbilde Englands erwünscht wäre, ist längst in verneinendem Sinne entschieden. Unsere Lage inmitten Europas nötigt uns für eine lange Reihe von Jahren, unseren Nachbarn als Militärmacht überlegen zu sein. Ein kräftiges und zuverlässiges Heer läßt sich aber nur auf Grund einer zahlreichen ackerbauenden

Bevölkerung erhalten, da beim Industriearbeiter die körperlichen und moralischen Eigenschaften, die den guten Soldaten machen, in erheblich geringerem Grade ausgebildet zu sein pflegen, als beim Landmann, insbesondere dem grundbesitzenden.

Der Gedanke, die Entwicklung der Industrie im Interesse der Landwirtschaft einzuschränken oder zu verzögern, welcher sich angesichts dieser Sachlage zuerst anbietet, ist nicht ausführbar. Das durch die glänzenden Erfolge der letzten Jahrzehnte angestachelte Vorwärtsstreben der deutschen Technik läßt sich nicht unterdrücken; jeder Versuch in solcher Richtung würde die bedenklichsten Folgen, unter anderen auch für die technische Entwicklung unserer Bewaffnung, nach sich ziehen. Es entsteht also die Aufgabe, einerseits die deutsche Landwirtschaft in ihrem Wettbewerb um das Menschenmaterial der Industrie gegenüber konkurrenzkräftiger zu machen, andererseits den Menschenbedarf der Industrie unbeschadet ihrer Erweiterung möglichst einzuschränken.

Beide Aufgaben erscheinen lösbar. Die eine durch Steigerung der landwirtschaftlichen Erträge auf Grund billigeren Stickstoffes, wobei freilich auch die technische Ausbildung des Landwirtes selbst soweit gefördert werden muß, daß die neuen Hilfsmittel sachgemäß Anwendung finden. Ferner kann der Wettbewerb begünstigterer ausländischer Korngebiete durch eine entsprechend erhöhte Einfuhrsteuer zurückgehalten werden.

Um eine derartige Steuerpolitik durchführen zu können, muß andererseits die auf Ausfuhr angewiesene Industrie derart entwickelt werden, daß ihre Güter vom Auslande unter jeder Bedingung aufgenommen werden müssen. In solcher Lage befindet sich Deutschland bereits bezüglich eines Industriezweiges, der täglich an Bedeutung wächst, nämlich der chemischen Industrie. Auch in ihren stärksten Äußerungen des Selbstbewußtseins wagen die Amerikaner nicht zu behaupten, daß sie in absehbarer Zeit auf dem Gebiete der feineren chemischen Fabrikation (künstliche Farbstoffe, Medikamente und

dergleichen) mit Deutschland werden konkurrieren können, und ebenso geht es in allen anderen Industrieländern; Deutschland hat das zweifellose Weltmonopol in bezug auf diese Industrie.

Fragt man sich nach den Mitteln, durch welche dieser Zustand erreicht ist, so läßt sich als entscheidender Faktor die systematische Verwertung wissenschaftlich geschulter Arbeitskräfte erkennen. Keine andere Nation hat das Menschenmaterial zur Verfügung, welches unsere Universitäten und technischen Hochschulen der deutschen Industrie liefern, und so lange dies Verhältnis dauert, ist jede Konkurrenz des Auslandes ausgeschlossen. Die Anwendung dieser Erfahrung auf die allgemeine Frage ergibt sich von selbst. Geschulte Intelligenz ist dasjenige Produkt, bezüglich dessen Deutschland allen anderen Ländern überlegen ist, und jede Industrie, welche wie die chemische auf vorwiegender Verwendung dieses Faktors beruht, kann sicher sein, sich zur ersten auf dem Weltmarkte auszubilden und diesem ihre Preise vorzuschreiben. Die Entwicklung der deutschen Industrie müßte daher mit allen Kräften in solche Richtung geleitet werden, daß in erster Linie Qualitätsartikel, deren Herstellung einen möglichst großen Aufwand jener Schulung und Intelligenz erfordert, hergestellt werden. Für eine derartige Industrie sind aber im Verhältnis zu den hergestellten Werten viel weniger Menschen erforderlich, als für niedrig stehende Massenfabrikate, und diese Menschen müssen einen nicht geringen Grad der Vorbildung erworben haben. Auf solche Weise würde sich der Stand des ungelernten Arbeiters, des eigentlichen Proletariers, vermindern lassen und der Durchschnitt des Industriearbeiters wird auf eine höhere Stufe gehoben. Den freiwerdenden Arbeiterüberschuß aufzunehmen ist die Landwirtschaft gleichzeitig gerne bereit.

3

INGENIEURWISSENSCHAFT UND CHEMIE

(Vorgetragen in der 44. Hauptversammlung des Vereins Deutscher Ingenieure zu München 1903.)

Meine Herren! Es ist Ihnen allen aus Ihrer Maschinenpraxis geläufig, daß, wenn irgend ein Ablauf von Geschehnissen eine dauernde oder stationäre Beschaffenheit annimmt, wenn also mit anderen Worten eine Selbstregulierung mit dem Geschehnis verbunden ist, dieses notwendig periodisch wird. Denn die Selbstregulierung kommt immer erst in Wirksamkeit, nachdem der Zustand eingetreten ist, den die Selbstregulierung beseitigen soll, und so verläuft das Geschehnis in regelmäßigen Schwankungen zwischen der Überschreitung seiner Grenze und der Zurückführung in diese durch den Regulator.

Derartige Verhältnisse sind ganz allgemein; sie zeigen sich ebenso wie an einer Maschine an der Lebenstätigkeit der Organismen und schließlich an den großen Verhältnissen der Menschheit, den Wellenformen der politischen, wirtschaftlichen und wissenschaftlichen Entwicklung. Das dauernde Interesse der Menschheit an diesen letztgenannten Gütern wirkt notwendig dahin, daß sie stationäre oder dauernde Formen annehmen, dieses Interesse wirkt also wie ein allgemeiner Regulator. Aber in diesen menschlichen Dingen tritt noch weit leichter als an der Maschine ein mangelhaftes Regulieren ein, was dann zu sehr starken Schwankungen um die mittlere Lage führt; dies rührt

daher, daß der hier betätigte Regulator, nämlich die menschliche Einsicht in die vorhandene Sachlage und der daraus erfolgende Entschluß zu ihrer Abänderung, recht unvollkommen und träge arbeitet und insbesondere nicht scharf auf kleine Einflüsse reagiert.

Wie macht man nun den Regulator empfindlicher? Die Antwort wissen Sie, meine Herren, besser als ich: man macht seine Energiekapazität für die zu kontrollierende Änderung groß und macht den Energieverbrauch für die Betätigung des regulierenden Gliedes, z. B. der Drosselklappe im Dampfrohr, klein.

Um aber diese Antwort aus dem Maschinellen ins Menschliche zu übersetzen, haben wir erst nachzusehen, welchen Gliedern der menschlichen Allgemeinheit die Rolle des Regulators zugefallen ist.

Die Antwort hierauf ist nicht ganz leicht und einfach zu geben. In politischen Dingen sind es die Regierungen, denen die Aufgabe zukommt, durch Regulierung die „Staatsmaschine" in regelmäßigem Gange zu halten. Aber die Regierungen sind wieder durch die zahllosen Beziehungen beeinflußt, welche ihre Vertreter mit den einzelnen Bevölkerungsgruppen verbinden. Die Presse spielt ihre gewichtige Rolle mit, und wenn irgend ein bestimmtes Bedürfnis sich in positivem oder negativem Sinne geltend macht, so schlagen die Versuche zu seiner Befriedigung die mannigfaltigsten Wege ein. Je früher die Bedürfnisfrage an maßgebender Stelle erkannt wird, um so „empfindlicher" wird ihr Regulierapparat arbeiten, um so mehr werden die Schädigungen, die aus der Nichterfüllung des Bedürfnisses erfolgen, vermieden werden.

Es ist also in letzter Linie eine möglichst klare und bestimmte Voraussicht der kommenden Dinge, von denen die Betätigung des menschlichen Regulators abhängt. Was aber gewährt die Fähigkeit zu solcher Voraussicht? Darauf gibt es nur eine Antwort: die Wissenschaft. Faßt man deren Aufgabe so groß und weit, wie man will, kennzeichnet man sie als die Erforschung der Gesetze alles Seins und Werdens: daß die Mensch-

heit wirklich gesunde Wissenschaft erarbeitet hat, und nicht nur ein Scheinwissen, läßt sich n u r daran erkennen, daß man ihre Gesetze auf die Voraussicht und Gestaltung der Zukunft anwendet und prüft, ob die Erfahrung diese Voraussicht bewahrheitet.

Vielleicht wird man mir hier den Einwand entgegenhalten: es geht auch ohne sie. Jahrhunderte- und jahrtausendelang haben die Völker ohne Wissenschaft im heutigen Sinne gelebt, und sie sind groß und blühend gewesen. Das ist wahr, aber gleichzeitig ist wahr, daß ihre Reguliervorrichtungen nur sehr unvollkommen gewirkt haben, so daß ihre Zustände in ungeheuren Wellen zwischen Gedeihen und Verderben hin und her geschleudert worden sind. Ein Ereignis der jüngsten Zeit läßt uns alsbald diesen Unterschied erkennen. Wenn noch vor dreißig Jahren in Berlin ein Mensch an der Pest erkrankt und gestorben wäre, so wäre eine schreckensvolle Epidemie die nahezu unvermeidliche Folge gewesen. Heute haben wir das Ereignis mit menschlicher Teilnahme zwar, aber ohne Besorgnis für uns und unsere Mitbürger sich vollziehen gesehen, denn durch die Wissenschaft haben wir die Mittel gewonnen, die möglichen Folgen vorauszusehen und sie im Sinne der Sicherheit der Bevölkerung zu beeinflussen. Während früher nach ungeheuerem Sterben allein der Teil der Bevölkerung übrig blieb, welcher nach dem Durchmachen gelinderer Erkrankungen immun geworden war, betätigen wir heute die Regulierung der Erscheinung durch unmittelbare Immunisierung der zunächst Bedrohten, und das Ereignis geht ohne merkliche Schwankung des Gesamtzustandes vorüber. (64)

So erweist sich die Aufgabe der Wissenschaft gegenüber den großen Fragen der Menschheit als eine doppelte. Einmal hat sie das Wissen zu beschaffen, auf dessen Grundlage allein die Voraussicht der kommenden Geschehnisse möglich ist, und hat die Zuverlässigkeit und Genauigkeit ihrer Aufstellungen einer immer wiederholten Prüfung zu unterziehen. Andererseits aber hat sie anzugeben, in welchem Sinne jeweils schädliche

Abweichungen der Verhältnisse zu befürchten oder nützliche zu erzielen sind und welche Beeinflussungen anzuwenden sind, um die zu erwartenden Vorgänge im günstigen Sinne zu leiten. Diese beiden Aufgaben scheiden sich, allerdings nur nach etwas oberflächlicher Einteilung, in reine und angewandte Wissenschaft; doch geht aus dem notwendigen Zusammenhange der beiden Aufgaben auch der notwendige Zusammenhang der beiden Teile der Wissenschaft hervor. Denn zur wirksamen Betätigung dieses Regulators gehört ein regelmäßiges Ineinandergreifen beider Teile. Das wirtschaftliche Schicksal eines großen und mächtigen Nachbarvolkes lehrt uns eben, wie bei Vernachlässigung der reinen Wissenschaft die ausgiebigste Pflege der angewandten das Eintreten einer bedrohlichen wirtschaftlichen Ebbe nicht zu verhindern vermag.

So sehen wir, daß auch die gegenseitige Einregulierung des Verhältnisses zwischen reiner und angewandter Wissenschaft, zwischen Forschung und Technik, dem gleichen Gesetz der Wellenbewegung unterworfen ist, wie alle Dauererscheinungen. Diese Schwankungen allgemein zu beseitigen, wird die Aufgabe einer erst noch zu schaffenden Kollektivpsychologie sein, die uns die Gesetze des Ablaufes geistiger Allgemeinerscheinungen kennen lehrt und uns damit die Mittel an die Hand gibt, sie im Sinne der Stetigkeit zu beeinflussen. Bis diese Wissenschaft sich gestaltet hat, müssen wir aus der Hand in den Mund leben und von Fall zu Fall die vorhandenen Verhältnisse und ihre nächste Zukunft zu erkennen suchen. Solchen Bestrebungen Ihres Vereines habe ich auch heute die Ehre zu verdanken, zu Ihnen reden zu dürfen, und es ist natürlich, daß ich mich bemühe, meine Aufgabe in solchem Sinne aufzufassen.

Denn das gleiche Gesetz der Wellenbewegung macht sich bezüglich der gegenseitigen Berührungen und Beeinflussungen der verschiedenen Teile der (reinen wie angewandten) Wissenschaft geltend. Eben liegt eine Zeit hinter uns, in welcher die Trennung der Einzelgebiete und ihre gesonderte Bearbeitung

die Losung war, und erst seit etwa einem Dezennium machen sich entgegengerichtete geistige Strömungen geltend, die eine Wiedervereinigung der getrennten Gebiete zum Ziele haben. Haben sich Physik und Chemie in der reinen Wissenschaft nach langer Trennung wieder zu einem fruchtbaren Bunde vereinigt, der in der physikalischen Chemie nicht ein neues, abgesondertes Reich, sondern ein beide verbindendes geschaffen hat, so treten sich auch ihre Anwendungsgebiete, die Ingenieurwissenschaft als angewandte Physik und die technische Chemie, immer näher und näher. In der technischen Elektrochemie ist die Verbindung beider bereits zur Tatsache geworden, und es ließe sich allerlei Nützliches hierüber sagen. Doch glaube ich als Vertreter der abstrakten Wissenschaft meine Aufgabe richtiger aufzufassen, wenn ich nicht das bereits Erreichte, sondern das in nächster Zukunft zu Erreichende in den Vordergrund treten lasse.

Denn daß die Elektrochemie nicht die einzige Verbindung zwischen Ingenieurwissenschaft und Chemie ist, ergibt sich ja bereits aus der fundamentalen Tatsache, daß alle Maschinentechnik auf der Verwendung chemischer Energie der Brennmaterialien beruht. Bisher ist diese Tatsache nur wenig zur Geltung gekommen; man verbrannte nach alter Weise die Kohle unter dem Dampfkessel und war zufrieden, wenn nicht allzuviel Kohlenstoff in Gestalt von Rauch und Ruß in die Luft ging. Die Verbesserungen wurden wesentlich im maschinellen Teile gesucht; Rohrkessel, mehrfache Expansion, rationelle Schieberführung sind einige von den Wegen, die hier betreten wurden. Erst ein ziemlich äußerlicher Anlaß, die Frage nach der Verwertung der Abgase der Kokereien und Eisenhochöfen, hat die Frage in Fluß gebracht, ob nicht die längst bekannten Gaskraftmaschinen, die man wegen ihrer Bequemlichkeit bisher für den Kleinbetrieb entwickelt hatte, nicht auch eine Übersetzung ins Große zuließen. Die Antwort ist Ihnen allen bekannt: wir stehen heute am Anfange einer tiefgreifenden Wendung in der Beschaffung mechanischer Energie aus chemischer.

In der Tat bewährt sich hier wieder einmal das Gesetz, auf das der Forscher in der Geschichte der Wissenschaft immer wieder stößt, und das eines der allgemeinsten Gesetze der künftigen Kollektivpsychologie sein wird: daß man nämlich auf das Einfachste immer erst zuletzt kommt. Es ist in der Tat einfacher, die chemische Energie des Brennmateriales durch Explosion mittels beigemischter Luft unmittelbar in mechanische Energie zu verwandeln, als erst die Zwischenstufe des Dampfes einzuschalten, der nur als Überträger eines verhältnismäßig geringen Teiles dieser Energie dient und bei dem die Beschaffung des Wassers, die Verwandlung in Dampf und die Beseitigung des Auspuffdampfes ebenso viele entbehrliche Verwicklungen darstellen; man denke nur an die Wasserfrage bei Lokomotiven. Trotzdem ist die tatsächliche Entwicklung den umgekehrten Weg gegangen, und zwar, obwohl das Prinzip des Explosionsmotors bereits vor mehr als 100 Jahren durch Montgolfier, den Erfinder des Luftballons, ausgesprochen worden ist. Allerdings hat dieser geniale Erfinder alsbald auch die Schwierigkeit gesehen, auf welche die Ausführung dieses Gedankens stößt: die Erzielung einer möglichst schnellen und vollständigen Verbrennung. Er hat sie originellerweise dadurch zu überwinden gesucht, daß er als Brennmaterial Bärlappsamen verwendete, das bekannte gelbliche Pulver, mit dem wir in unseren Kinderjahren die Theaterblitze herzustellen pflegten. Und da sehen wir denn auch den Grund, warum dieser einfachere Weg so lange Zeit gebraucht hat, bis er gangbar geworden ist. Eine derart geregelte plötzliche Verbrennung, wie sie im Explosionsmotor notwendig ist, läßt sich nur herbeiführen, wenn das Brennmaterial als Gas oder wenigstens als Nebel oder Staub mit der Verbrennungsluft gemischt ist. Es war also die Entwicklung der Gastechnik notwendig, ehe die Explosionsmaschine praktisch werden konnte, und auch heute hat ja gerade die Frage nach der Verwendung überschüssigen Brenngases der Sache den neuen Anstoß gegeben.

Nachdem dieser aber einmal eingetreten ist, läßt sich eine schnelle Entwicklung voraussehen. Ich brauche hierauf nicht einzugehen, denn schon seit einiger Zeit werden Sie, meine Herren, mit Ungeduld die Frage erwogen haben, wozu die gleichen Dinge, die Sie eben aus berufenstem Munde gehört haben (65), Ihnen noch einmal von einem Laien vorgetragen werden. Meine Herren, diese Überlegungen liefern Ihnen ein Beispiel von der Tätigkeit der Wissenschaft, die ich Ihnen vorher zu schildern versuchte. Als ich vor einigen Wochen mit Herrn Professor von Linde über den heutigen Tag mich zu besprechen Gelegenheit hatte, stellte sich heraus, daß wir beide, jeder von seiner Seite, zu sehr ähnlichen Gedankenreihen gekommen waren. Ich konstatiere dies hier nicht, um mich damit zu brüsten, sondern zur Ehre der Wissenschaft, zum Zeichen, daß sie wirklich ihres Prophetenamtes zu warten vermag. Wenn ein Thermodynamiker und ein Chemiker, jeder von seiner Seite, die gleiche Richtung gefunden haben, so liegt darin eine gewisse Gewähr, daß diese Richtung sachlich bedingt ist und nicht durch persönliche und zufällige Besonderheiten vorgetäuscht war.

Dürfen wir demnach annehmen, daß wirklich für die Umwandlung der chemischen Energie der Brennmaterialien zunächst in mechanische und dann in elektrische u. s. w. der Explosionsmotor die Maschine der nächsten Zukunft ist, so ist eine überaus enge Verbindung zwischen Maschinenkunde und Chemie notwendig, um die hier auftretenden neuen Aufgaben zu bearbeiten. Denn wir haben zunächst die Vergasung des Brennstoffes, welche die bisherige Rostfeuerung sozusagen aus der Hand in den Mund vermöge der Geschicklichkeit des Heizers besorgte, nunmehr bewußt in solchem Sinne zu lenken, daß ein für die Anwendung möglichst geeignetes Gas entsteht. Dies ist eine wesentlich chemische Aufgabe, die aber in ihrer Ausführung überall durch mechanisch-technische Bedingungen eingeschränkt und bestimmt wird. Die Lösung dieser Aufgabe wird nicht die gleiche sein können für die verschiedenartigen

Brennstoffe; während sie für Anthrazit und Koks, d. h. für wasserstoffarme, vorwiegend aus Kohlenstoff bestehende Brennstoffe bereits im wesentlichen gelöst ist, bieten die wasserstoffreicheren, von der Steinkohle bis zum Torf, anscheinend noch große, nicht überwundene Schwierigkeiten. Hierbei wird sich eine Teilung der Arbeit notwendig machen; man wird anders verfahren, wenn es sich um die Einrichtung von Energiezentralen handelt, in denen in unterbrochenem Betriebe täglich sehr große Mengen bewältigt werden sollen, und wieder anders, wenn die Aufgabe einer möglichst einfachen und sicheren Betriebsanlage kleinen und kleinsten Umfanges vorliegt. Während im ersten Falle der Preis der Rohstoffe ausschlaggebend ins Gewicht fällt und die Frage der Nebenerzeugnisse und ihrer Verwertung einen sehr erheblichen Faktor ausmacht, wird im anderen Falle die Einfachheit und Bequemlichkeit des Betriebes gern mit etwas größeren Auslagen für den Brennstoff bezahlt.

Versuchen wir es uns klar zu machen, welche von beiden Richtungen in der Zukunft vorwiegen wird, so kann die Antwort nicht zweifelhaft sein: der Schwerpunkt des Interesses liegt in den Großbetrieben. Nicht nur, weil eine einzige derartige Anlage in bezug auf den Wert der erzeugten Energie hunderte von kleinen Anlagen aufwiegen wird — es ist ein Verhältnis, wie etwa zwischen Dynamomaschinen und galvanischen Elementen —, sondern auch, weil die im Großbetriebe erzeugte Energie, sei es in Gestalt elektrischen Stromes, sei es als Heizgas, dem Kleinbedarf in bequemster Weise zugänglich gemacht werden kann. Es bleiben demnach nur solche Anlagen übrig, welche zu weit von einer Zentrale entfernt sind, um einen vorteilhaften Anschluß zu ermöglichen, und solcher werden naturgemäß durch den Fortschritt der Entwicklung im eben dargelegten Sinne immer weniger.

Mit dieser Einsicht ist nun aber die Mitarbeit der Chemie in dieser neuen Entwicklung in weitestem Umfang erfordert und gesichert. Denn die Verwandlung des festen Brennstoffes

in einen gasförmigen von bestimmten Eigenschaften ist ein chemischer Vorgang, und zwar ein recht verwickelter. Überlegt man, daß erst in jüngster Zeit noch wesentliche Fortschritte in der Erkenntnis der chemischen Vorgänge gemacht worden sind, die bei einem solange und in so ungeheuerem Maßstabe täglich durchgeführten technischen Prozeß, wie die Reduktion der Eisenerze im Hochofen, stattfinden (66), so wird man es verständlich finden, wenn ich die Vergasung der Brennstoffe als einen noch fast ganz unbekannten Vorgang bezeichne, wenn wir auch über die allerallgemeinsten Verhältnisse dabei jetzt schon eine gewisse Kenntnis haben.

Wozu soll denn aber die genauere chemische Kenntnis der Vergasungsvorgänge dienen? Es genügt ja, wenn wir ein genügend energiereiches Gas auf irgend eine erfahrungsmäßig zu ermittelnde Weise erlangen, wird vielleicht der eine oder andere Techniker sagen. Nun, ich glaube mich dieser Versammlung gegenüber nicht erst verteidigen zu müssen, wenn ich dagegen sage: Selbst wenn diese Aufgabe zur Zeit bereits gelöst wäre (was sie noch lange nicht ist), so kann uns erst die wissenschaftlich-chemische Untersuchung darüber belehren, ob die Lösung die beste, d. h. theoretisch vorteilhafteste ist, sie allein kann uns insbesondere sagen, wie wir uns zu verhalten haben, um bestimmte Forderungen zu erfüllen, welche die allgemeine Verwendung des erzeugten Stoffes an uns stellt.

Eine derartige Forderung ist beispielsweise folgende. Ob man unter äußerer Heizung den Brennstoff mit Hilfe von Wasserdampf vergast, also sogenanntes Wassergas erzeugt oder ob man die für die Reaktion erforderliche Energie durch Zuführung von Luft, d. h. Sauerstoff, während der Gasbildung selbst beschafft, immer finden die beiden Reaktionen

$$H_2O + C = H_2 + CO$$

und

$$2H_2O + C = 2H_2 + CO_2$$

nebeneinander statt. Bei der ersten wird Kohlenoxyd neben Wasserstoff gebildet, bei der zweiten Kohlensäure neben Wasser-

stoff. Es kann Verhältnisse geben, in denen die eine, und andere, in denen die andere Reaktion den Vorzug haben wird. So ist Kohlenoxyd bekanntlich sehr giftig; handelt es sich also um ein Gas, das in die Häuser gelangt, so wird man diesen Stoff möglichst fernhalten.

Die Frage nun, wie man die zweite, kohlenoxydfreie Reaktion in den Vordergrund schieben kann, ist eine Frage der chemischen Dynamik, und sie beantwortet sich dahin, daß es praktisch nur ein Mittel hierfür gibt, nämlich die Erniedrigung der Temperatur. Aus dem bekannten Gesetz, wonach sich jedes Gleichgewicht mit der Temperatur so verschiebt, daß bei steigender Temperatur die mit Wärmeverbrauch erfolgende Reaktion die Oberhand gewinnt, folgt, daß Kohlensäure und Wasserstoff um so reichlicher entstehen werden, je niedriger die Reaktionstemperatur ist, oder genauer, je niedriger die Temperatur war, bei welcher sich das Gleichgewicht zuletzt eingestellt hatte. Denn für das schließliche Gleichgewicht ist es gleichgültig, ob die durch die chemischen Formeln dargestellte Reaktion an sich bei hoher oder niederer Temperatur stattgefunden hatte: erhält man das Gasgemisch hernach hinreichend lange Zeit bei einer anderen Temperatur, so stellt sich ein Zustand heraus, der mit dem übereinstimmend ist, den das Gebilde angenommen hätte, wenn es stets bei dieser Schlußtemperatur sich befunden hätte.

Damit nun aber dieser letztere Schluß Gültigkeit hat, darf die Zeit, während welcher die Schlußtemperatur geherrscht hat, nicht zu kurz bemessen sein; denn die Verschiebung des einmal hergestellten Gleichgewichtes verlangt eine bestimmte Zeit, die wieder um so kleiner unter sonst gleichen Bedingungen ist, je höher die Temperatur ist, denn mit steigender Temperatur nimmt die Reaktionsgeschwindigkeit schnell zu. Andererseits ist es möglich, die Reaktionsgeschwindigkeit durch den Zusatz anderer Stoffe, der Katalysatoren, in den weitesten Grenzen zu ändern. So sehen Sie, meine Herren, daß es sich selbst für

den Fall der Vergasung reinen Kohlenstoffes um einen überaus verwickelten Vorgang handelt, dessen vollständige Beherrschung für technische Zwecke der ununterbrochenen gemeinsamen Arbeit des Chemikers mit dem Ingenieur bedarf.

Wie verwickelt die Verhältnisse erst werden, wenn wir auf den Wasserstoffgehalt des Brennstoffes Rücksicht nehmen müssen, wenn wir wasserreiche Brennstoffe, wie grubennasse Braunkohle oder gar Torf, zur Vergasung vorgelegt bekommen, brauche ich hiernach nicht erst auseinanderzusetzen. Und doch werden wir um diese Aufgaben nicht herum können, ja die Herstellung von Kraftgas aus derartigem minderwertigen Brennstoff wird eine große Aufgabe der Zukunft sein. Hierzu drängt, abgesehen von der unverhältnismäßig größeren Wohlfeilheit dieser Stoffe, die allgemeine technische Erwägung, daß, wenn irgend ein Weg gefunden werden soll, auf dem eine rationelle Verwertung solcher Stoffe erzielt wird, die genau regulierbaren und wissenschaftlich überwachten Betriebsverhältnisse einer großen Zentrale viel eher die Bedingungen einer solchen Verwertung herzustellen und zu erhalten gestatten, als die von Zufälligkeiten in mannigfaltigster Weise beeinflußten Kleinbetriebe. Die für die Durchführung dieser schwierigen Vorgänge erforderliche Intelligenz und Aufmerksamkeit muß eben dem einzelnen abgenommen werden, damit mit einem gegebenen Aufwande von geistiger Energie ein möglichst großer Betrag nutzbarer Arbeit freigestellt wird. Die Beanspruchung der erforderlichen geistigen Energie beim Verbraucher würde wirtschaftlich eine Verschwendung bedeuten, da man mit ihr Besseres leisten könnte, oder aber bei ihrer Abwesenheit der Nutzeffekt infolge der Unvollkommenheit in der Ausführung der erforderlichen Maßnahmen einen zu geringen Wert annehmen würde. Letzteres wird uns in jedem Haushalte immer wieder vor Augen geführt, wenn wir die verschwenderische Ofen- und Küchenheizung ansehen.

Gestatten Sie mir, meine Herren, bei diesem letzteren Punkte einige Augenblicke zu verweilen. Es ist üblich, auf den Stumpf-

sinn des großen Publikums zu schelten, das so manche nützliche Neuerung nicht annehmen mag, weil sie ein gewisses, geringes Maß von Geschicklichkeit und Aufmerksamkeit erfordert, und man findet es unangemessen, daß der Erfinder solcher Fortschritte immer den meisten Scharfsinn darauf verwenden muß, sie so handgerecht zu machen, daß schließlich ihr Benutzer nur auf einen Knopf zu drücken oder eine Kurbel zu drehen hat, um das Gewünschte zu erzielen. Mir scheint diese Forderung des großen Publikums völlig berechtigt zu sein, denn jeder Mensch verfügt ja schließlich nur über einen bestimmten Betrag geistiger Energie. Wozu also diesen Betrag für Dinge verbrauchen, die ihn nicht notwendig erfordern? Eine gut gemeinte Pädagogik legt uns die Auffassung nahe, daß es gesund sei, dem Schüler die Dinge nicht zu leicht zu machen, und diese Auffassung geht auch in das tägliche Leben über. Dem gegenüber möchte ich betonen, daß der Mensch um so mehr leisten kann, je bequemer er es sich macht. Unsere ganze Kultur besteht ja darin, daß wir es uns bequem machen, das heißt, daß zahllose Verrichtungen, die früher Zeit und Arbeit kosteten, jetzt selbsttätig ausgeführt werden. Arbeitet darum der moderne Mensch weniger als der frühere? Die Antwort ist zweifellos; er arbeitet viel mehr, insbesondere macht er immer konzentriertere, das heißt immer mehr geistige Anstrengung erfordernde Arbeit. Es ist also eine Forderung der Selbsterhaltung, wenn man von den Dingen des täglichen Lebens verlangt, das sie beinahe von selbst gehen, das heißt, daß man nur eine Auslösung zu betätigen hat, damit der gewünschte, stets gleiche Vorgang erfolgt.

Es ist hier nicht der Ort, diesen Gedanken weiter zu entwickeln, als wir ihn für unseren Zweck brauchen. Die Zentralisierung der Energie bedingt ihre Austeilung in einer Form, die es dem Benutzer so bequem wie möglich macht. In dieser Beziehung ist die elektrische Energie allen anderen Formen weit überlegen, und so wird sie immer die Energie-

form sein, welche den eben erörterten Bedürfnissen des großen Publikums am besten entspricht. Erst wenn die betätigten Energiemengen so groß werden, daß sich der zu ihrer Kontrolle erforderliche größere Aufwand menschlicher Intelligenz bezahlt macht, wird man vorteilhaft andere Formen anwenden können.

Die nächstbequeme wird dann wohl die chemische Energie in Gestalt von Kraftgas sein. Für unmittelbare Anwendung der Wärme, wie Heizen, Schmelzen, Schmieden u. s. w., lassen sich Heizungen mit Gas so unverhältnismäßig viel vollkommener einrichten als die bisherigen mit festem Brennstoff, daß schon jetzt in allen etwas größeren Städten Kraftgasanlagen als wirtschaftlich vorteilhaft bezeichnet werden müssen. Hierzu kommt, daß die Anwendung des Auer-Strumpfes uns ermöglicht, das gleiche Kraftgas, das sich ganz bedeutend wohlfeiler als Leuchtgas herstellen läßt, auch zu Beleuchtungszwecken überall anzuwenden. Ferner sind endlich die mit fertigem Kraftgas betreibbaren Kleinmotoren gegenwärtig bereits zu einer solchen Vollkommenheit gediehen, daß auch die dezentralisierte Erzeugung mechanischer Energie sich vielfach als vorteilhaft erweisen wird.

Meine Herren, ich weiß wohl, daß Betrachtungen, wie die eben angestellten, Ihnen geläufig sind; denn sie sind seit zwei Jahrzehnten immer wieder von weiterschauenden Männern angestellt worden. Aber ich meine, es ist gerade jetzt wieder die rechte Zeit, von neuem mit allem Nachdruck sie hervorzuheben, da die Herstellung von Kraftgas durch die neuerliche Entwicklung der großen Explosionsmotoren einen kräftigen Antrieb bekommen hat. Die Gaskraftmaschine und der Auer-Strumpf sind die beiden maßgebenden Faktoren, die neuerdings in diese Rechnung eingetreten sind, und damit ist die Wahrscheinlichkeit der endlichen Lösung der Aufgabe ganz erheblich näher gerückt, wie Sie es ja eben von dem verehrten Herrn Vorredner gehört haben.

An den Chemiker aber treten mit dem Augenblicke, wo

die Darstellung von Kraftgas in dem erwarteten Umfange beginnt, neben den eben dargelegten Aufgaben bei der Lösung dieses Problems selbst noch ganz andere Aufgaben von fast unabsehbarer Bedeutung heran. Als vor etwas mehr als einem halben Jahrhundert die Gasbeleuchtung sich auszudehnen begann, hat niemand ahnen können, daß einer der dabei auftretenden Abfallstoffe, der Steinkohlenteer, eine chemische Industrie ins Leben rufen sollte, deren jährlicher Umsatz sich allein in Deutschland auf hunderte von Millionen Mark beläuft. Nun beträgt aber die Menge Kohlen, welche für die Herstellung von Leuchtgas verwendet werden, noch nicht den hundertsten Teil der Menge, die unter den Dampfkesseln der Maschinen verfeuert wird. Denken Sie sich alle diese Kohlen einer vorgängigen Vergasung unterzogen, und fassen sie den Maßstab ins Auge, welchen dann die Industrie der hierbei entstehenden Nebenprodukte annehmen wird, dann gewinnen Sie eine Perspektive, die schwindelerregend ist. Hierbei ist noch besonders zu betonen, daß mit der Einbeziehung anderer Brennstoffe, wie insbesondere der Braunkohle und des Torfes, auch ganz andere Nebenerzeugnisse entstehen werden, die unübersehbare neue Möglichkeiten für die Herstellung nützlicher Stoffe geben.

Dazu kommt noch ein weiterer günstiger Umstand. Aus den vorangegangenen Darlegungen haben Sie gesehen, daß zur Vermeidung des unerwünschten Kohlenoxyds die Vergasung bei möglichst niedriger Temperatur durchgeführt werden muß. Dies ist gerade auch die Bedingung, unter welcher die meisten und mannigfaltigsten Nebenerzeugnisse entstehen.

Über diese Nebenerzeugnisse wäre sehr viel zu sagen; ich muß mich indessen hier auf einen oder zwei Punkte beschränken. Einerseits entstehen flüssige Kohlenwasserstoffe aller Art, die zunächst als Rohstoffe für die chemische Industrie der künstlichen Farbstoffe u. s. w. in Betracht kommen. So wie sie aber in vielfacher Menge auf den Markt gelangen, werden sie neue Verwendungen suchen, und da bietet sich die Anwendung zur

Beleuchtung und zum Motorenbetrieb an. Es ist mit andern Worten das Gebiet des Petroleums, welches von diesen Stoffen beansprucht werden wird, und zwar nicht nur des gewöhnlichen Lampenpetroleums, sondern auch des Petroleumbenzins, das gegenwärtig als leichtester Energievorrat für die Motoren der Selbstfahrer in erster Linie in Betracht kommt. Stellt man sich nämlich die Frage, wie man eine gegebene Energiemenge mit dem geringsten Gewicht verbinden kann, so ergibt sich die chemische Energie als allen anderen Formen überlegen, und überall dort, wo man auf freien Sauerstoff rechnen kann*, erweist sich Wasserstoff als die leichteste Form der chemischen Energie. Nun ist dieser wegen seiner Gasgestalt sehr unbequem zu handhaben; man wird daher an seiner Stelle flüssige Wasserstoffverbindungen anwenden, bei denen die anderen Elemente möglichst wenig wiegen und möglichst große Verbrennungsenergie haben. Diese Bedingungen werden am besten von den gesättigten Kohlenwasserstoffen erfüllt, aus denen das Petroleumbenzin besteht.

Liegt also hier eine Möglichkeit vor, unsere Bedürfnisse unabhängig von den amerikanischen Petroleumherrschern zu befriedigen, so greift ein anderes Nebenprodukt noch weit tiefer in unser Volksleben ein: es ist dies der gebundene Stickstoff. Alle fossilen Kohlen enthalten zwei bis drei vom Hundert Stickstoff in Gestalt unbekannter Verbindungen; bei der trockenen Destillation entweicht ein großer Teil desselben als Ammoniak. Nun ist gebundener Stickstoff ein ziemlich teurer Stoff: das Kilo davon kostet in der Form, wie er am meisten gebraucht wird, als landwirtschaftliches Düngesalz, rund 1 Mark. Infolge dieses hohen Preises leiden alle unsere Felder Stickstoffhunger; sie könnten die Sonnenenergie, die sie im Laufe des Sommers empfangen, viel vollständiger ausnutzen, wenn der Landwirt in der Lage wäre, größere Stickstoffmengen auf das Feld zu bringen

* In Unterseebooten, wo freier Sauerstoff nicht unbegrenzt verfügbar ist, werden daher die Bedingungen für einen zweckmäßigen Motor ganz andere.

und dadurch die Entstehung entsprechend größerer Mengen organischer Substanz in den Pflanzen zu ermöglichen. Hierzu kommt, daß etwa drei Viertel des Düngestickstoffes zurzeit als Chilesalpeter auf das Feld kommen; wir sind mit anderen Worten auch bezüglich dieses wichtigsten aller Düngemittel auf Amerika angewiesen, und die chilenischen Salpeterlager nähern sich bekanntlich mit schnellen Schritten der Erschöpfung. Der Stickstoff der fossilen Kohlen ist bisher nur in dem sehr geringen Teile nutzbar gemacht worden, der für die Leuchtgasfabrikation verwendet worden ist; alle Kohle, die in den Öfen und auf dem Roste der Dampfkesselfeuerungen verbrannt worden ist, hat diesen Stickstoff ungenutzt mit den Rauchgasen entweichen lassen. Dies wird sofort anders, wenn die Kohle zuerst einer Vergasung unterworfen wird; dann findet sich der Stickstoff als Ammoniak im Gase vor und kann durch die bekannten Mittel daraus entnommen und der Landwirtschaft zu niedrigen Preisen zugeführt werden.

Die Folgen einer derartigen Wendung lassen sich kaum übersehen. Mit der Steigerung des Ertrages unserer Felder machen wir die heimische Landwirtschaft einträglicher und erleichtern gleichzeitig anderen Ständen die Lebenshaltung. Welche erwünschten politischen und ökonomischen Wirkungen ein derartiges Mittel zur Hebung der Landwirtschaft haben kann, brauche ich hier nicht zu entwickeln; sie sollten, wie ich meine, allein schon genügen, um alle Kräfte in Bewegung zu setzen, damit diese Entwicklung in kürzester Frist herbeigeführt wird.

Endlich gestatten sie mir noch, mit wenigen Worten auf eine andere Seite derselben Frage einzugehen; ich will mich mit einer Andeutung begnügen, da ich dieselbe Angelegenheit vor kurzem an anderer Stelle behandelt habe. Es ist der Umstand, daß auch unsere Wehrkraft von der Verwendung des Chilesalpeters abhängt, also tatsächlich von einem einzigen Punkte an der anderen Seite der Erdkugel aus unterbunden

werden kann. Alle Schieß- und Sprengstoffe haben nämlich Salpetersäure zur Grundlage, deren einzige in Betracht kommende Quelle eben die chilenischen Salpeterlager sind. Nun ist es mir unter Mitwirkung meines Assistenten Dr. Brauer in jüngster Zeit gelungen, die bisher nur als qualitativer Vorlesungsversuch bekannte Umwandlung des Ammoniaks in Salpetersäure zu einem quantitativ verlaufenden Prozeß zu gestalten, dessen Ausführung im großen kein Hindernis mehr im Wege steht. Somit können wir auch in dieser Beziehung uns als vom Auslande unabhängig betrachten. Auch der Landwirtschaft wird die Aussicht, ihr Düngesalz in Gestalt von Ammoniumnitrat mit 35 vom Hundert Stickstoff anwenden zu können, gegenüber den bisherigen viel stickstoffärmeren Materialien als Gewinn erscheinen.

Das sind in der Tat Aussichten von erheblicher Tragweite. Ich habe mich geprüft, ob bei diesen Uberlegungen die Phantasie eine unzulässige Rolle gespielt hat, und ich bitte Sie, meine Herren, die gleiche Prüfung vorzunehmen. Ich habe nichts Ungesundes in meinen Überlegungen finden können. Vielleicht hätte ich mich doch gescheut, sie Ihnen vorzulegen, wenn sie nicht zu einem erheblichen Teil mit den Gedanken zusammengetroffen wären, die Ihnen der verehrte Herr Vorredner soeben vorgetragen hat. Also, es scheint sich wirklich um vernünftige und realisierbare Aussichten zu handeln, um Aussichten, die nur der fleißigen Arbeit bedürfen, um Wirklichkeiten zu werden.

Damit aber alle diese Aussichten verwirklicht werden können, ist eine gemeinsame Arbeit des Maschinen- und Bautechnikers mit dem Chemiker erforderlich. Ich glaube nicht, daß ein guter Ingenieur daneben auch genügend Chemiker sein kann, um beide Seiten des Problems mit gleicher Sicherheit zu übersehen und zu beherrschen; noch weniger glaube ich, daß ein guter Chemiker in seinen Nebenstunden sich die erforderlichen technischen Kenntnisse aneignen kann. Also eine gemeinsame Arbeit mehrerer Männer wird schon unent-

behrlich sein.* Aber soviel Chemie soll der Ingenieur, und soviel Ingenieurwissenschaft der Chemiker wissen, daß sich die Vertreter der beiden Gebiete ohne viele Umstände ver-

* Es erhebt sich an dieser Stelle die wichtige Frage: Wo und wie sollen diese Aufgaben bearbeitet werden? Die Unterrichtslaboratorien der Universitäten und technischen Hochschulen sind hierfür nur insofern geeignet, als in ihnen die allgemeinen wissenschaftlichen Grundlagen festgestellt werden. Sowie aber die für die praktischen Anwendungen in Frage kommenden Einzelheiten zu ermitteln sind, müssen diese Institute versagen. Einmal, weil sie nicht über die Mittel und Einrichtungen verfügen, welche für derartige, notwendig im großen Maßstabe anzustellende Versuche erforderlich sind. Sodann aber, weil sie durch derartige Arbeiten zu sehr ihrem eigentlichen Unterrichtszwecke entzogen werden würden; es wäre ein gefährliches Unrecht gegen Lehrer und Schüler, wenn den Fragen der unmittelbaren industriellen Verwertbarkeit eine erhebliche Bedeutung bei ihrer gemeinsamen Bildungsarbeit zugeschrieben werden würde.

Dem Deutschen liegt es nahe, in solchem Falle alsbald sich nach staatlicher Hilfe umzusehen. Indessen ist dieser Weg lang und unsicher, und wenn das Ding dann auf dem üblichen Wege fertig geworden ist, so sieht es meist ganz anders aus, als man erwartet und gewünscht hatte.

Den schnellsten und zweckmäßigsten Weg hat die Technik in einzelnen Fällen bereits erkannt und beschritten. Er besteht in der Errichtung privater wissenschaftlich-technischer Anstalten, die von der beteiligten Industrie durch Geld und durch die technischen Hilfsmittel der beteiligten Fabriken unterstützt werden und dafür diesen die Ergebnisse ihrer Arbeiten zur Verfügung stellen, oder die auftretenden Aufgaben bearbeiten. Am weitesten hat sich dieses Verfahren in der chemischen Industrie entwickelt, wo das Forschungslaboratorium und die Versuchstelle zur Ausarbeitung ins Große regelmäßige Bestandteile der einzelnen Werke sind. Ein Fall, in welchem sich eine Gruppe nahestehender Werke zum gemeinsamen Unterhalt einer solchen Anstalt vereinigt hat, liegt bei den Waffen-, Munitions- und Sprengstoff-Fabriken vor. Die von diesen gegründete und unterhaltene Zentralstelle für wissenschaftlich-technische Untersuchungen in Neubabelsberg bei Berlin ist eine große, ausgezeichnet eingerichtete und geleitete Anstalt, welche aus einer physikalisch-chemischen und einer mechanischen Abteilung besteht, und in der die neuesten Hilfsmittel der Wissenschaft für die Lösung der auftretenden technischen Fragen in Anspruch genommen werden.

Eine ähnliche Organisation, an der einerseits die Maschinenfabriken für Gasmotoren, andererseits die Kokereien und Gasfabriken beteiligt wären, könnte auch im vorliegenden Falle eintreten. Geeignete Männer, um eine derartige Anstalt mit dem erforderlichen wissenschaftlich-technischen Weitblick zu leiten, sind vorhanden und könnten gegebenenfalls genannt werden.

ständigen können. Hier ist vielleicht auf beiden Seiten in der Ausbildung noch ein wenig nachzuhelfen, und bei diesem Anlaß seien mir einige Worte zu dieser Sache, die mich als Lehrer ja nahe berührt, gestattet.

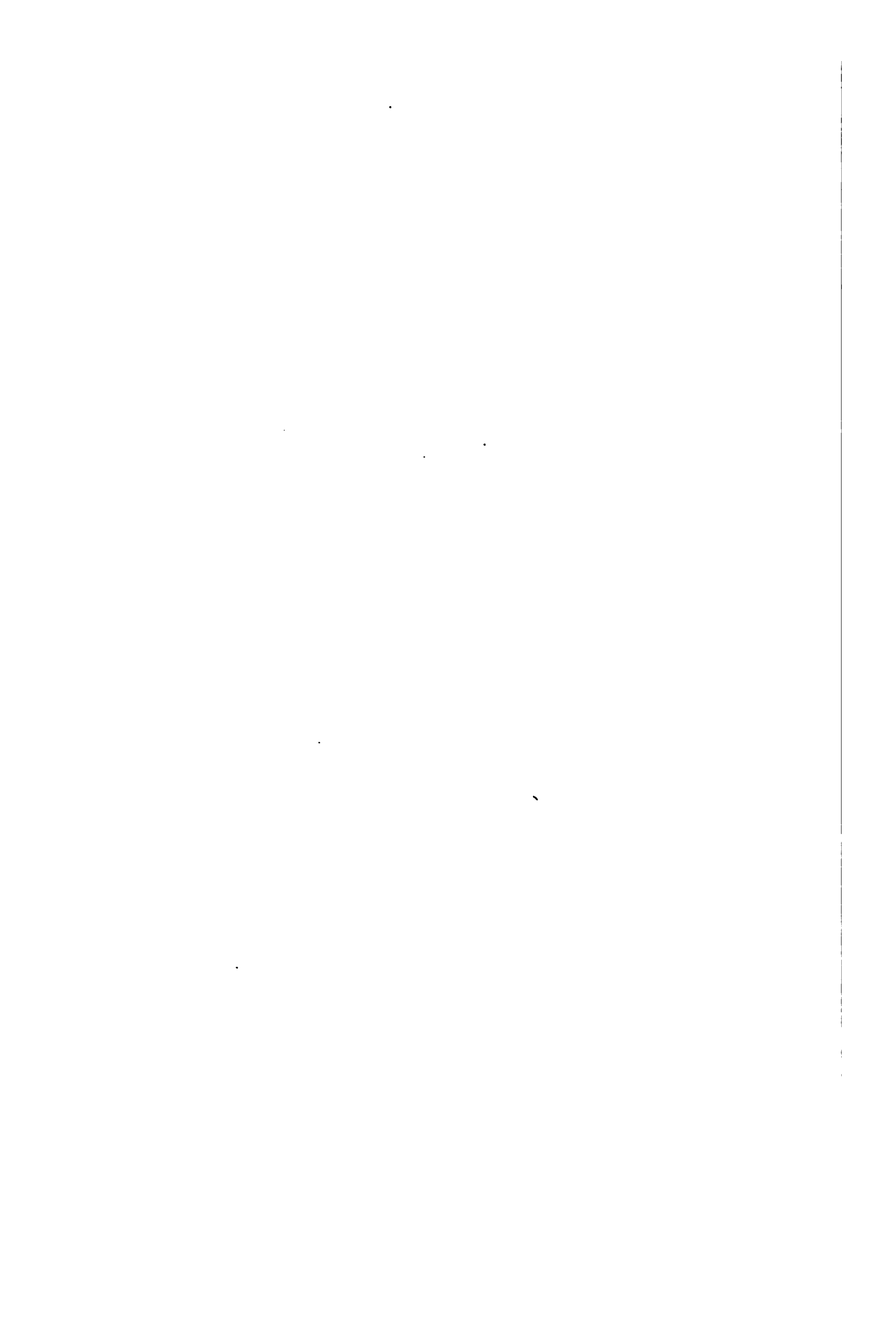
Es wird heutzutage wohl wenige Kenner unserer Unterrichtsverhältnisse geben, welche nicht bedauern, daß die Bewegung, welche im letzten halben Jahrhundert in Deutschland zur Ausbildung der technischen Hochschulen geführt hat, von den Universitäten nicht rechtzeitig verstanden und aufgenommen worden ist. Wie ist nun diese beklagenswerte Spaltung der höchsten Bildungsstätten unseres Volkes zu beseitigen? An eine nachträgliche Absorption der technischen Hochschulen durch die Universitäten ist ebensowenig zu denken wie an den umgekehrten Vorgang. Da bleibt denn nichts übrig, als daß sich beide Anstalten die gleichen Endziele ihrer Entwicklung stellen, um späterhin allseitig gleich zu werden. Was wir in den letzten Jahren in dieser Beziehung erlebt haben, bedeutet seitens der technischen Hochschulen ja eine gewaltige Annäherung an dieses gemeinsame Ziel in solchem Sinne, daß die freie wissenschaftliche Arbeit, dies höchste Palladium der Universitäten, auch im technischen Unterricht eine immer erhöhte Bedeutung gewinnt. Was aber noch fehlt, ist das bewußte Hinarbeiten beider Seiten auf diese gegenseitige Annäherung. Es ist nicht zu leugnen, daß die Entwicklung der technischen Hochschulen nach der wissenschaftlichen Seite hin von einigen Angehörigen der Universitäten nicht mit kollegialem Wohlwollen angesehen worden ist; andererseits müssen wir an der Universität uns gelegentlich darüber beklagen, daß unsere Versuche, die technischen Seiten des Unterrichtes zu entwickeln, von einigen Kollegen an technischen Hochschulen als unlauterer Wettbewerb bekämpft worden sind. Ist es vermessen, schon jetzt die Hoffnung auszusprechen, daß mit der Anerkennung jenes gemeinsamen Zieles auch diese engherzige Auffassung der Sonderrechte auf

beiden Seiten schwinden wird? Daß ich glaube, dies hoffen zu dürfen, beruht auf der Erkenntnis, die ich am Anfange unserer Betrachtungen bereits ausgesprochen habe, daß wir uns nämlich zweifellos in einer Epoche der Vereinigung früher getrennter Wissensgebiete befinden. Einen kleinen Anfang haben wir ja in dieser Beziehung bereits gemacht. Der so segensreich wirkende Verband der deutschen Laboratoriumsvorstände, der übrigens auch einer hier in München abgehaltenen Versammlung seine Entstehung verdankt, umfaßt in gleicher Weise die Universitäten wie die technischen Hochschulen und stellt damit die beiderseitige Übereinstimmung der Unterrichtsziele auch auf seine Weise fest.

Es war wieder Zukunftsmusik, meine Herren, die ich auch in dieser Beziehung geblasen habe. Aber wie sollte ich nicht in dieser Umgebung, wo eine andere Zukunftsmusik zur glänzenden Wirklichkeit geworden ist, auch meine Weisen ertönen lassen? Die Zukunft ins Auge zu fassen, ist die Pflicht jedes ernsthaften Menschen, und insbesondere die Pflicht des Gelehrten, und wenn ich die günstigen Seiten der künftigen Möglichkeit vor allen Dingen in den Vordergrund geschoben habe, so hat das seine guten energetischen Gründe. Neben den allgemeinen Regulierwirkungen, die gemäß unseren einleitenden Betrachtungen mit solcher Tätigkeit verbunden sind, und die zur Vermeidung zweckloser Energievergeudung führen, hat der Ausblick auf erfreuliche realisierbare Erwartungen noch die besondere katalytische Wirkung den entsprechenden Energiebedarf leicht und unter angenehmen Empfindungen flüssig zu machen. Mehr als diese katalytische Wirkung habe ich auch meinerseits nicht angestrebt; die eigentlichen Energievorräte haben Sie zu liefern.

V

BIOGRAPHIE



I

JOHANN WILHELM RITTER

(Rede, gehalten auf der ersten Jahresversammlung der Deutschen Elektrochemischen Gesellschaft am 5. Oktober 1894 in Berlin.)

An dem heutigen Tage, wo die deutsche elektrochemische Gesellschaft zum ersten Male sich als Ganzes vereinigt hat, und der daher in vielen Beziehungen vorbildlich und maßgebend für ihre Zukunft sein wird, glaube ich, daß es angemessen und richtig ist, wenn wir nicht nur der Arbeiten des Tages gedenken, sondern auch einen Blick rückwärts in die Ferne der Zeiten werfen, und uns der Anfänge bewußt zu werden suchen, aus denen das entstanden ist, was sich heute so hoffnungsfreudig und frisch entwickelt. Zwar weiß ich, daß trotz einer erheblichen Zahl von Männern, die sich der Wissenschaft als solcher gewidmet haben, diese Versammlung, zu der ich zu sprechen die Ehre habe, zum größeren Teile aus Vertretern der Praxis besteht. Ich glaube aber nicht, daß von diesen der Gegenstand meiner Mitteilung, obwohl er der Praxis völlig fern steht, und sich auf Personen und Arbeiten bezieht, über welche sich bald ein Jahrhundert geschlossen haben wird, als nicht hierher gehörig empfunden und daher abgelehnt werden wird. Ich glaube, aus den Erfahrungen, die ich in den letzten Jahren gemacht habe, die Überzeugung entnehmen zu dürfen, daß dem heutigen Prak-

tiker nicht mehr jenes Mißtrauen gegen die Theorie innewohnt, welches früher so verbreitet war, und so sehr den Fortschritt der Praxis selbst aufgehalten hat. Aber – könnte man mir einwenden — Theorie wollen wir gerne hören und lernen, und daraus zu entnehmen suchen, was für die Praxis geeignet erscheint; was soll uns aber eine geschichtliche Darstellung längst abgetaner Dinge, die wir alle auswendig wissen, und die uns nichts Neues lehren können?

Ist das nun aber wirklich der Fall, kann uns die Geschichte nichts lehren, wenn sie sich auf Dinge bezieht, die in unseren geistigen Besitz mehr oder weniger vollständig übergegangen sind? Ich stelle diese Frage ohne alle Beziehung zu den idealen Zwecken der Geschichtsforschung, ganz von dem Standpunkt des eifrigen und intelligenten Praktikers, der hierher gekommen ist, um etwas zu sehen und zu lernen, was er früher oder später verwerten könnte. Als Antwort darauf möchte ich Ihnen eine Erfahrung erzählen, die ich vor einiger Zeit an mir selbst gemacht habe.

Sie haben alle eine Vorstellung von der ungemeinen Bedeutung, welche die mechanische Wärmetheorie für die gesamte Industrie gehabt hat, und Ihnen ist auch bekannt, daß die Anwendungen derselben sich um zwei Hauptsätze gruppieren, von denen alle einzelnen Ergebnisse durch unmittelbare Schlüsse ableitbar sind. Der erste dieser Hauptsätze ist einfach und wohlbekannt: es ist der Satz von der Erhaltung der Energie, dessen Entdeckung wir J. R. Mayer, und dessen Durchführung durch das ganze Gebiet der exakten Wissenschaft wir Helmholtz verdanken. Heute ist dieser Satz, um dessen Anerkennung sein Entdecker seinerzeit einen langen und heißen Kampf kämpfen mußte, eine so allgemein bekannte Wahrheit geworden, daß jeder vorgeschrittene Schüler ihn kennt, und sein Ausspruch uns wie eine Selbstverständlichkeit, eine Trivialität vorkommt. Dagegen schwebt über dem zweiten Hauptsatze, der schon viel früher durch Sadi Carnot ausgesprochen war, ein gewisses

geheimnisvolles Dunkel, das um so geheimnisvoller erschien, je mehr man sich von den außerordentlich weitgehenden Konsequenzen überzeugte, welche die wenigen, die ihn verstanden und anzuwenden wußten, wie Clausius, Thomson und Kirchhoff, aus ihm zogen. Mir persönlich wenigstens ging es so; ich habe, wie Jakob um Rahel, sieben Jahre um ihn geworben, ohne näher in sein Verständnis eindringen zu können. Zwar die Rechnungen, die mit ihm verknüpft waren, ließen sich verstehen; – aber der tiefere, anschauliche Sinn, der in diesen Rechnungen versteckt lag, und den jene Männer offenbar erfaßt hatten, da sie ja vermocht hatten, jene Formel zum Sprechen zu bringen und ihre bewunderungswürdigen Entdeckungen ihr zu entlocken, dieser Sinn wollte sich mir nicht offenbaren. Ich glaube gern, daß die Schuld wesentlich an mir lag; aber ich weiß auch, daß damals, vor etwa fünfzehn oder zwanzig Jahren, viele mit mir an dem gleichen Übel litten.

Heute glaube ich nicht mehr daran zu leiden; ich glaube, den wesentlichen Inhalt des zweiten Hauptsatzes begriffen und die so sehr ersehnte Freiheit in dem Gebrauche desselben in dem Umfange der mir beschiedenen Kräfte erworben zu haben. Und wie bin ich dazu gekommen? Durch das einfachste und nächstliegende Mittel der Welt; dadurch, daß ich jene Arbeit von Carnot, in welcher der Satz der Welt zum ersten Male mitgeteilt worden war, im Originale las. Hier ging mir mit einem Male die ganze einfache Größe dieses Gedankens auf; hier sah ich endlich, wie die analytischen Formeln, die mir immer stumm geblieben waren, nur einseitige Ausdrücke einer viel allgemeineren Beziehung waren: hier begann der Gedanke desselben, der mich bisher immer wie eine tote Form angestarrt hatte, Leben zu bekommen und eine Fülle von neuen Einsichten tat sich mir auf. Und dies war nicht das einzige Mal, wo ich diese Erfahrung machte, wenn mir auch später keine so auffällige entgegentrat; so oft ich mich mit den grundlegenden Arbeiten unserer großen Meister unmittelbar ver-

traut machte, hatte ich einen Gewinn an Einsicht und Verständnis zu verzeichnen, der weit über das hinaus ging, was aus den sekundären Quellen, den Lehrbüchern und dergleichen zu entnehmen war.

Das ist also der sehr reelle Nutzen, welchen das Studium der Geschichte, und insbesondere ihrer Quellen, mit sich bringt. Vielleicht darf ich Ihnen noch eine andere persönliche Erfahrung mitteilen. Ich habe ein ziemlich großes Unterrichtslaboratorium zu verwalten, und infolge der besonderen Verhältnisse desselben wird es vorwiegend von vorgeschritteneren Chemikern und Physikern besucht, welche sogenannte selbständige Arbeiten machen, d. h. wissenschaftliche Untersuchungen, zu denen ich ihnen das Thema und die Grundzüge der anzuwendenden Methoden zu geben habe. Dadurch entsteht ein großer Verbrauch von wissenschaftlichen Problemen und Gedanken, und ich würde um solche oft in Verlegenheit geraten, wenn ich nicht ein unfehlbares Mittel hätte, mir davon zu verschaffen, wieviel ich brauche. Das Mittel ist wieder das gleiche, von dem ich vorher sprach: das Studium hervorragender Originalabhandlungen. Hier bin ich sicher, immer wieder neue Gedanken zu finden. Denn jeder Pfadfinder in einem neuen Gebiete ist gezwungen, indem er seinen Weg verfolgt, zahllose Dinge, die wohl des Verfolgens wert wären, beiseite zu lassen, um von seinem Hauptziel nicht abgelenkt zu werden. Die Zeitgenossen folgen ihm aber so schnell als möglich zu diesem Hauptziel, und richten dort ihre eigene Arbeit ein; die auf den Nebenwegen verbliebenen Sachen werden kaum bemerkt, und erst viel später, wenn die wesentliche Orientierung in dem neuen Lande bewerkstelligt ist, denkt man daran, jene vergessenen Schätze zu heben. Zu diesen hat aber wieder nur der Zugang, welcher jene Arbeiten unmittelbar kennen zu lernen weiß; in die Lehrbücher geht meist nur das über, was auf der Heerstraße liegt und allgemein bekannt und anerkannt ist.

Soviel über den unmittelbaren Nutzen geschichtlicher Studien.

Über den unvergleichlichen intellektuellen Genuß, welchen sie vermitteln, über die Erweiterung des Gesichtskreises, die Befreiung des Urteiles, die man auf diesem Wege reichlicher, als auf jedem anderen findet, will ich nichts hinzufügen; diese Dinge sind zu leicht der Gefahr ausgesetzt, daß man darüber Phrasen macht, und davon möchte ich mich heute mehr als je freihalten.

Und nun, meine Herren, bitte ich Sie, sich mit mir um ein Jahrhundert zurückzuversetzen in die Zeit, wo eben Galvani seine merkwürdigen Beobachtungen veröffentlicht hatte, welche seinen Namen durch die Jahrhunderte tragen. Es mag wenig andere Entdeckungen geben, welche in gleichem Maße wie diese das Interesse weitester Kreise wachgerufen und erhalten haben. Schien es doch, als wäre das Rätsel des Lebens gelöst, als wäre für die „Lebensgeister“ der damaligen Physiologie ein reales Wesen in der Elektrizität gefunden, deren Vorhandensein und Tätigkeit Galvani bei den anfangs so rätselhaften Zuckungen seines Froschpräparates nachgewiesen hatte. Unter dem Einflusse dieser Bewegung brachte der Mann, von dem wir hier reden wollen, seine Jünglingsjahre, die Zeit der lebhaftesten Empfänglichkeit zu. Denn Johann Wilhelm Ritter ist im Jahre 1776 geboren, er war also zur Zeit, wo Galvanis Entdeckung in Deutschland bekannt wurde, 1792, sechzehn Jahre alt. Über seine Jugend habe ich wenig in Erfahrung bringen können. Er ist in einem kleinen Städtchen, Samitz bei Hainau in Schlesien, geboren und ist dann Pharmazeut geworden. Seine Verhältnisse scheinen ziemlich dürftige gewesen zu sein, wenigstens waren sie auch später, wo wir ihn in Jena studierend und bald darauf lehrend wiederfinden, nichts weniger als glänzend. Wir werden uns daher wohl eine zutreffende Vorstellung von seinen Schicksalen machen, wenn wir annehmen, daß er als Pharmazeut mit jenen alle Welt erfüllenden Entdeckungen bekannt geworden ist, und von dem unwiderstehlichen Drang des echten Forschers getrieben,

mit den geringen Mitteln, die er sich in seinem Berufe hat erwerben können, nach Jena gegangen ist, um dort an der Quelle seinen Wissensdurst zu stillen und sich der Forschung hinzugeben. In einer aus Wahrheit und Dichtung gemischten Skizze seines Lebens- und Entwicklungsganges, seinen „Fragmenten aus dem Nachlasse eines jungen Physikers", wo er in den Tagen der Bedrückung – 1809 – seine glühende Vaterlandsliebe zum Ausdruck bringt, schreibt er, indem er sich zu seinen hilfreichen Freunden wendet: „Aber er nahm seine Pflichten gegen Euch noch höher; — er erklärte, die Nation sei seiner Tage Schöpfer gewesen. – Und in Wahrheit! Ihr werdet es verstehen, Ihr! die Ihr gewußt, daß seine frommen rechtschaffenen Eltern — echt deutschen Geblütes aus alter Zeit — ihn einst bei seinem Eintritt in die Welt mit nichts als ihrem Segen begleiten konnten; daß er schon früh den liebsten Wünschen seiner Jugend durch die Fügung in eine völlig technische Laufbahn entsagen mußte, die ihn fünf beste Jahre seines Lebens kostete, und der er nur mit äußerster Verwegenheit sich wieder entwand; – und daß er hierauf untergegangen wäre, ohne Euch zu finden; – aber er hatte auf Euch gerechnet, und sich nicht getäuscht."

In Jena fand Ritter, was er suchte, und entwickelte sich sehr schnell zu einem selbständigen und überaus originalen Forscher. Über seine inneren Erlebnisse gibt die lange Vorrede jener Fragmente reichen Aufschluß, über seine äußeren dagegen nur mehr oder weniger rätselhafte Andeutungen. Er fand Verständnis und Förderung, geriet aber bald in Widerspruch zu einem besonders tätigen älteren Freunde, vermutlich dem Hofrat Voigt, und ergriff daher mit Freuden die Gelegenheit, Jena zeitweilig zu verlassen und nach Gotha überzusiedeln. Seine einigermaßen rätselhaften Andeutungen darüber sind folgende: „Bei mehr Ruhe ergaben sich die mannigfaltigsten Entdeckungen – lange genug gefürchtet, aber eben darum vermieden. ‚Lehrer und Schüler' bekannten, sich geirrt zu

haben, und mehr, als hier bezeichnet werden kann, forderte auf, das ganze lehrreiche und so vielseitig kostspielig gewesene Verhältnis zu lösen ... Eine eigene Verbindung der Dinge, die oftmals alle unsere Scharfsicht übersteigt, brachte selbst noch mehr zu stande: der Gefesselte wurde gänzlich frei. Die verschiedensten und verschiedenartigsten Personen (z. B. vier Herzöge, ein Famulus, ein Buchhändler, ein Geheimer Rat, ein Numismatikus, ein Schornsteinfeger, ein Historikus, ein Knabe, Voltas Säule, eine chemisierende Französin, und noch vieles andere) waren in diese Erlösungsgeschichte aufs wunderbarste und meist selbst unwissendste darum verflochten, binnen wenigen Monaten aber war sie glücklich beendet."

In Gotha ist er, wenigstens was seine wissenschaftlichen Hilfsmittel anlangt, in bessere Verhältnisse gekommen. Schon vor Entdeckung der Voltaschen Säule hatte er die Gesetze der Kette klar erkannt, und war daher nach dieser Entdeckung mehr als andere befähigt, sie zu verstehen und zu erweitern. Der Herzog Ernst II. von Sachsen-Gotha und Altenburg stellte ihm die Mittel zur Errichtung einer Säule von 600 Paaren zur Verfügung, und in eine kurze Reihe von Jahren, — 1798 bis 1804 — die er abwechselnd in Jena, Weimar und Gotha verbrachte, drängt sich eine solche Fülle von Arbeiten zusammen, daß es fast unbegreiflich erscheint, wie ein einziger Mann, und dazu noch von schlechter Gesundheit, dies alles hat leisten können. Dazu waren noch persönliche Unerfreulichkeiten zu überwinden. Mir liegt ein Brief des Herzogs Karl August von Weimar vor, in welchem dieser einen Jenaer Professor ermahnt, den Widerstand der philosophischen Fakultät daselbst gegen Ritter zu beseitigen. Ritter war von einer Anzahl Studierender gebeten worden, Vorlesungen über den Galvanismus zu halten, und die Fakultät hatte ihm das Recht dazu verweigert, weil er nicht promoviert hatte. „Ich bemühe Sie daher mit dem Auftrage, der philosophischen Fakultät bemerklich zu machen, daß sie doch nicht gerade jetzt ihre Formen

entgegensetze, besonders da es dem Ritter für den Moment schwer zu fallen scheint, das Geld daran zu wenden."

Im Jahre 1804 besserten sich die äußeren Verhältnisse Ritters, indem er als Mitglied der bayrischen Akademie der Wissenschaften nach München berufen wurde. Doch konnte er diese bessere Lage nicht lange genießen, denn schon im Januar des Jahres 1810 erlag er einem langwierigen Lungenleiden.

Ritters gesamte wissenschaftliche Tätigkeit zu schildern, fehlt heute die Zeit und der Anlaß. Denn wenn diese sich auch so gut wie ausschließlich auf die galvanischen Erscheinungen bezieht, so ist doch ein großer, und vielleicht der merkwürdigste Teil derselben der physiologischen Elektrik gewidmet, die uns heute nicht beschäftigen kann. Doch ist gerade dieser Seite von Ritters wissenschaftlicher Tätigkeit durch Emil du Bois-Reymond in dessen Hauptwerk eine so eingehende und feinsinnige Würdigung widerfahren, daß ich mich mit um so größerem Rechte auf die uns naheliegende Seite, seine elektrochemischen Arbeiten beschränken darf.

Ein Bild von Ritters wissenschaftlicher Persönlichkeit gewinnt man am ehesten aus der erwähnten Schrift, die in seinem Todesjahre anonym erschien, den Fragmenten aus dem Nachlasse eines jungen Physikers. Unter der durchsichtigen Verkleidung, als sei er, Ritter, nur der Herausgeber der nachgelassenen Aufzeichnungen eines jüngst verstorbenen Freundes, schildert er zunächst in einer eingehenden Vorrede seinen Entwicklungsgang, aus dem oben einiges mitgeteilt worden war, und gibt dann unter fünfzehn Abschnitten nicht weniger als siebenhundert Aphorismen, Ideen, Bemerkungen, Vorschläge zu Versuchen und dergleichen, welche sich über Physik nicht allein, sondern über die mannigfaltigsten anderen Gebiete der Wissenschaft und des Lebens erstrecken. Um Ihnen eine Vorstellung von der Art dieser Bemerkungen zu geben, will ich gleich den ersten Satz anführen: „Möchten wohl alle Körper ohne Wärme,

möchte alle Materie ohne Wärme, vielleicht gar keine Verwandtschaft mehr untereinander haben? – Aber ohne Wärme möchte auch wohl gar keine verschiedene Materie, und keine überhaupt mehr stattfinden!" —

Und der letzte lautet: „Unsere irdische Hülle ist nur eine Anmerkung, die der Schöpfer zum geistigen Text gemacht hat. Man liest sie zuletzt, überschlägt sie auch wohl."

Sie haben, meine Herren, in diesen Worten unseren Mann, wie er leibt und lebt. Kühnheit des Denkens, die ihn zu Schlüssen führt, welche die Wissenschaft erst viel später in ihren Bestand aufzunehmen gewagt hat, ist eine ausgezeichnete Seite seines Wesens, und die aus dem letzten Spruch hervorleuchtende Mißachtung des eigenen Körpers steht nicht nur auf dem Papiere, sondern er hat sie in einer Weise betätigt, die sich in der Wissenschaft nicht bald wiederfindet. Wenn ich Ihnen nur das eine Beispiel anführe, daß er, um die Wirkung eines andauernden intensiven Lichtes auf die Gesichtsempfindung kennen zu lernen, eines seiner Augen, das er durch eine künstliche Vorrichtung offen hielt, dem direkten Sonnenlicht durch zwanzig Minuten ausgesetzt hat, und um sich zu überzeugen, ob die dabei beobachteten Erscheinungen zufällig oder nicht gewesen sind, alsbald auch das andere daran gewagt hat, und daß er diese gefährlichen Versuche mehrmals wiederholt hat, so sehen Sie, in welchem Maße er es mit der Wissenschaft ernst nahm. Und diese Geschichte ist nicht die einzige. Er hat unter anderem geprüft, wie stark die galvanischen Schläge sind, die man noch eben ertragen kann, und welche Empfindungen sie in den verschiedenen Körperteilen erwecken. Hierbei hat er sich nicht auf Hände, Augen, Nase und Mund beschränkt, sondern auch Körperteile galvanisch mißhandelt, die man sonst nicht zu Experimenten in Anspruch nimmt.

Neben diesen großen Vorzügen stehen freilich auch große Fehler. Als der Mann, der den größten Einfluß auf ihn ge-

habt hat, nennt Ritter Novalis, den Dichter, und nach ihm Herder. Von wissenschaftlichen Vorbildern meldet er nichts. Genoß er dadurch den Vorzug des durch eigene Kraft Emporgearbeiteten, daß seine Anschauungen nicht durch den Einfluß anderer beschränkt waren, so läßt er auch den Nachteil erkennen, den eine solche Entwicklung nur zu leicht mit sich bringt. Es fehlte ihm die Schulung des kritischen Denkens, welche mitten in der Freude des Schaffens sich immer wieder die Frage stellt: kann das Geschaffene auch die strenge Prüfung bestehen, ohne welche in der Wissenschaft nichts Bestand hat? Er verfügt über einen solchen Überschuß von Ideen, daß ihm nicht die Zeit bleibt, trotz fast übermenschlicher Anstrengung sie alle zur Ausführung zu bringen, und so gewöhnt er sich leider mehr und mehr daran, die Ideen für die Hauptsache, und ihre Prüfung an der Erfahrung für entbehrlichen Ballast zu halten. Gegen das Ende seines Lebens ist dieser Zug bereits pathologisch geworden; Ritter erklärt, daß er im Besitze eines höheren Kalkuls sei, der ihn der Arbeit im einzelnen enthebe, und ihm höhere Einsichten der Natur verschaffe, als sie dem gewöhnlichen Physiker eigen seien.

Im höchsten Maße wird dieser verderbliche Zug durch eine mächtige Strömung jener Zeit unterstützt, welche nicht nur dies eine Opfer gefordert hat, und unter deren Folgen die deutsche Naturwissenschaft noch ein halbes Jahrhundert gelitten hat. Es ist dies die Naturphilosophie unseligen Andenkens, jene Anschauung, nach welcher die Natur sich a priori durch die Tätigkeit der „Vernunft“ erkennen lasse, so daß alle physische Erkenntnis als bloße „viehische“ in den Hintergrund zu treten habe, wo jene höhere Stimme spricht.

Ritter war dieser geistigen Pest nicht von vornherein verfallen. Seine ersten Arbeiten lassen zwar mancherlei erkennen, was uns Naturphilosophie in jenem schlechten Sinne zu sein scheint, doch zeigt ein Vergleich mit zeitgenössischen Arbeiten, daß wir es hier wesentlich mit stilistischen Unarten zu tun

haben, welchen fast alle Zeitgenossen huldigten. Der experimentelle Teil dieser Arbeiten ist noch mit Geduld — zuweilen ganz außerordentlicher Geduld — ausgeführt und die weitreichenden Schlüsse, die er aus ihren Ergebnissen zieht, haben fast alle mehr oder weniger später ihre Rechtfertigung durch die Erfahrung erhalten. Aber nach und nach macht sich, wohl gleichzeitig mit dem Fortschreiten der heimtückischen Krankheit, welcher er so früh zum Opfer fiel, eine Wendung zum schlimmeren geltend. Immer schwülstiger wird der Stil, immer unvollständiger die Versuche und immer hastiger die Schlüsse, und zuletzt sehen wir den feinsinnigen Beobachter, der die verwickeltsten Erscheinungen der Nervenerregbarkeit bei dem zu seinen Versuchen dienenden Froschpräparat in einer Weise zu deuten wußte, die ein halbes Jahrhundert später den genauesten Kenner dieser Dinge, Emil du Bois-Reymond, zur Bewunderung hinriß, wir sehen diesen Mann Dinge behaupten, die der einfachste Versuch als irrtümlich erweist. Dieser Wandel fällt ungefähr mit der Zeit seiner Übersiedlung nach München zusammen, und die Verhältnisse, in welche er dort eintrat, waren nur zu geeignet, ihn in der Verirrung zu bestärken. Denn dort geriet er unter den unmittelbaren Einfluß des Schöpfers der Naturphilosophie, Schelling, und die Frucht dieses Einflusses erkennen wir in seinen dort betriebenen Bemühungen, der Lehre von der Wünschelrute, den Wasserfühlern und Erzsuchern eine wissenschaftliche Begründung zu geben.

Wir können somit für die eigentlich wissenschaftliche Tätigkeit Ritters nur die Zeit von 1797, wo er seine erste Arbeit über den Galvanismus der Naturforschenden Gesellschaft zu Jena vorlegte, bis zum Jahre 1804, wo er nach München übersiedelte, also die kurze Spanne Zeit von sieben Jahren, rechnen. Von der Fülle der Arbeit, welche er in diese Zeit zusammenzudrängen gewußt hat, will ich versuchen, Ihnen, meine Herren, eine Vorstellung zu geben.

Jene erste Abhandlung enthält wesentlich eine auf eigene

Versuche gestützte Kritik der Hypothesen über die Ursache der Galvanischen Erscheinungen, welche ihm zu dem Ergebnisse führte, daß von allen vorgeschlagenen Anschauungen allein die von Volta haltbar sei, daß es sich um Elektrizität oder ein dieser sehr ähnliches Agens handele, welches nicht durch die organische Beschaffenheit des Froschpräparates, sondern durch die Berührung verschiedenartiger Stoffe erregt wird. Insbesondere war aus den Erörterungen über diese Fragen hervorgegangen, daß auch sehr geringe Unterschiede in der Beschaffenheit der sich berührenden Stoffe genügen, um an einem empfindlichen Frosche Zuckungen hervorzurufen. Daraus zog Ritter alsbald den Schluß, daß überall, wo verschiedene Stoffe sich berühren, auch galvanische Ströme vorhanden sein müssen, daß also auch der Organismus, in dem überall verschiedene Stoffe aneinander grenzen, der Sitz zahlloser elektrischer Ströme sein müsse. Soweit ist alles einwandfrei, und Sie wissen, daß der Aufgabe, diese Mannigfaltigkeit zu entwirren, ein Mann, der eine der glänzendsten Zierden der hiesigen Universität ist, sein ganzes Leben gewidmet hat. Aber nun zeigt sich alsbald die andere Seite Ritters, seine Neigung zu den weitgehendsten Schlüssen: „Gesundheit ist also zweckmäßige Harmonie der Aktionen dieser Ketten?"

„Krankheit — Disharmonie?" —

„Die Kunst des Arztes, was ist sie anderes, als — Wiederherstellung der vorigen Harmonie, indem er die Aktion dieses oder jenes Kettensystems vermehrt oder vermindert?" —

In dieser Schrift befindet sich bereits die Andeutung einer fundamentalen Entdeckung, die allein Ritters Namen unsterblich machen würde. Genauer findet sie sich ausgesprochen in dem auf Grundlage des eben erwähnten Vortrages ausgearbeiteten Buche vom folgenden Jahre: Beweis, daß ein beständiger Galvanismus den Lebensprozeß im Tierreich begleite. Es ist Tatsache, daß die von Volta aufgestellte elektrische Spannungsreihe der Metalle mit der Reihe

ihrer chemischen Verwandtschaft für Sauerstoff zusammenfällt. Diese Tatsache war genügend, um den galvanischen oder vielmehr Voltaschen Erscheinungen für immer ihre chemische Grundlage zu sichern, und mit dieser Entdeckung war der Anfang der wissenschaftlichen Elektrochemie gegeben.

Um die ganze Bedeutung zu würdigen, welche diese Tatsache für die Wissenschaft gehabt hat, muß man wissen, daß Volta jenen Zusammenhang mit den chemischen Eigenschaften der Metalle nicht nur nicht gesehen hat, sondern auch in der Folgezeit von einem solchen Zusammenhange nie etwas hat wissen wollen. Ja, er hat mit einer ihm sonst nicht eigenen Heftigkeit wiederholt allen und jeden derartigen Zusammenhang in Abrede gestellt, und wenn es nach ihm gegangen wäre, so gäbe es heute keine elektrochemische Gesellschaft, wie überhaupt keine Elektrochemie.

War Ritter hier in einen — übrigens erst viel später zu tage tretenden — Gegensatz zu dem von ihm über alles verehrten Volta gelangt, so fand er sich mit ihm um so enger zusammen in seiner nächsten größeren Arbeit, seinem „Beweis, daß der Galvanismus auch in der anorganischen Natur zugegen sei", welcher wieder erst als Vortrag vor der Jenaer Gesellschaft, und sodann in sehr erweiterter Gestalt in seinem zweibändigen Werke: „Beiträge zur näheren Kenntnis des Galvanismus" mitgeteilt wurde. Galvani und mit ihm die meisten seiner Zeitgenossen hatten die Erscheinungen am Froschpräparat als Äußerungen einer besonderen tierischen Elektrizität angesehen, und Volta war seinerzeit fast der einzige, welcher ihre allgemeine Beschaffenheit behauptete. In Deutschland hatte insbesondere Alexander von Humboldt eine Meinung mit großem Erfolge zur Geltung gebracht, die sich von der Galvanis nur dadurch unterschied, daß er die elektrische Natur des galvanischen Fluidums leugnete. Hiergegen war Volta mit physikalischen Versuchen aufgetreten, indem er das Vorhandensein

elektrischer Spannnungen bei der Berührung verschiedener Stoffe, insbesondere Metalle, mit Hilfe eines Kondensators erwies. Ritter ergänzte diesen Nachweis auf das glücklichste, indem er das Auftreten chemischer Vorgänge in Fällen, wo die Bedingungen der galvanischen Wirkungen vorhanden waren, und ihr Ausbleiben, wo letztere fehlten, auf das überzeugendste nachwies. Sein Hauptversuch ist folgender: Auf eine Glasplatte werden zwei Stück Zink und Silber oder Kupfer gebracht, so daß jedes Paar der ungleichen Metalle gleichzeitig in einen auf der Platte vorhandenen Wassertropfen tauchte. Eines der Metallpaare ist durch einen darübergelegten Leiter der Elektrizität verbunden, das andere nicht. Wenn der Versuch so etwa vier Stunden gestanden hat, so findet man das Zink, welches mit dem anderen Metalle verbunden war, stark oxydiert, das andere, das im übrigen unter ganz gleichen Bedingungen sich befunden hatte, ist dagegen kaum merklich angegriffen.

Die Bedeutung dieses Versuches, den Ritter noch mannigfaltig abänderte, liegt besonders darin, daß er im Jahre 1799, also noch vor Entdeckung der Säule, angestellt und richtig gedeutet worden ist. Denn ich will daran erinnern, daß zu jener Zeit nur die einfache Kette bekannt war, daß die Wissenschaft also über keine größere elektromotorische Kraft, als etwa ein Volt verfügte. Unter solchen Umständen war es allerdings keine geringe Sache, die chemische Wirkung der Elektrizität zweifellos nachzuweisen, und die Sicherheit, mit der Ritter seinen Beweis führte, verdient unsere ganze Bewunderung.

Im folgenden Jahre teilte nun Volta seine grundlegende Entdeckung mit, daß die elektromotorische Kraft der Kette sich durch den Aufbau zur Säule bis in das Unbegrenzte steigern läßt. Niemand war besser vorbereitet als Ritter, die ganze Tragweite dieser Entdeckung zu erkennen, hatte er doch selbst in seinem eben genannten Buche das Prinzip der Addition, auf dem die Säule beruht, mit aller nur wünschenswerten Klarheit ausgesprochen, und nur versäumt, die praktische An-

wendung davon zu machen. In seiner ersten Mitteilung über die Säule schilt er sich selbst weidlich wegen dieses Mangels an Weitblick, aber, und das ist charakteristisch für seine selbstlose Art, nur darum, daß dadurch die Wissenschaft einige Jahre länger dieses außerordentliche Hilfsmittel der Forschung hat entbehren müssen. Kein Wort des Neides gegen Volta, keine Spur einer Prioritätsreklamation entstellt seine Äußerungen; immer ist es nur die Wissenschaft, die er im Auge hat.

Mit dem größten Eifer wurde nun „batterisiert". Die Zersetzung des Wassers an den Poldrähten, das rätselhafte, erst in unseren Tagen ganz verstandene gleichzeitige Auftreten des Sauerstoffes und Wasserstoffes an zwei fast beliebig weit getrennten Orten, die Zerlegung der Metallsalze, — alle diese Entdeckungen, welche die Namen Nicholson und Carlisle, Cruikshank, Davy berühmt gemacht haben, sind fast gleichzeitig und völlig unabhängig von Ritter beobachtet worden; nur durch den Umstand, daß Volta seine Entdeckung zuerst dem damaligen Präsidenten der Royal Society, Banks, mitteilte, welcher seinerseits Voltas Brief monatelang bei seinen Bekannten und Freunden zirkulieren ließ, bevor er ihn veröffentlichte, hatten die Engländer den zeitlichen Vorsprung vor Ritter, welcher ihnen gestattet hat, ihren Namen mit jenen wichtigen Tatsachen zu verbinden.

Bei dieser Gelegenheit erscheint auch der erste Fall, wo Ritter sich, durch theoretische Vorstellungen geleitet, in einen Irrtum verwickelte, der auf ungenauer und zu hastiger Arbeit beruhte. Er glaubte, in der konzentrierten Schwefelsäure ein Mittel gefunden zu haben, welches den Übergang des elektrischen Stromes von einem Metall zu einem Leiter ohne gleichzeitige Zersetzung möglich macht. Indem er nun zwei Wassermassen durch konzentrierte Schwefelsäure und einen Golddraht trennte, und dann der Elektrolyse unterwarf, erhielt er auf der einen Seite Wasserstoff, auf der anderen Sauerstoff, ohne daß die beiden Wassermassen miteinander in Austausch treten

konnten. Die beiden Gase konnten somit nicht von demselben Wasser stammen, und die Annahme, daß bei diesem Versuch Wasser zersetzt wird, war unrichtig, vielmehr war das Wasser einerseits ganz in Sauerstoff, andererseits ganz in Wasserstoff verwandelt. Nun, meine Herren, wir wissen jetzt, daß Ritters Voraussetzung falsch war, daß auch die Schwefelsäure wie jeder andere Elektrolyt nur unter gleichzeitiger Zersetzung leitet, und Ritter versäumte nicht, seinen Versuch zurückzunehmen, als ihm dessen Unrichtigkeit nachgewiesen wurde. Seine Schlußfolgerung, daß Sauerstoff gleich Wasser plus positiver Elektrizität und Wasserstoff gleich Wasser plus negativer ist, hielt er freilich aufrecht, und verwickelte sich hierdurch in eine ausgedehnte Polemik. Die Schwierigkeit, über die er nicht hinweg konnte, war das einzelne Auftreten der beiden Produkte an den Polen; weder er, noch seine Zeitgenossen, konnten sich ein Bild davon machen, auf welche Weise z. B. der Wasserstoff des Wassers, welches am positiven Pole seinen Sauerstoff abgegeben hatte, unsichtbar an den negativen Pol gelangen konnte, um erst dort als Gas zu erscheinen. Es ist dies allerdings keine geringe Schwierigkeit; auch die einige Jahre später von Grotthus aufgestellte Theorie der abwechselnden Verbindungen und Wiederzersetzungen im Elektrolyt ist, wie Clausius nachgewiesen hat, mit den Tatsachen in Widerspruch, und erst die von diesem Forscher angedeutete, von Arrhenius in aller Konsequenz entwickelte Theorie der freien Ionen war im stande, uns ein zutreffendes Bild von den Vorgängen zu geben.

Aus der Erkenntnis des Zusammenhanges der chemischen mit den galvanischen Erscheinungen versäumte Ritter nicht, alsbald die weitreichenden Schüsse zu ziehen, die für ihn so charakteristisch sind, und er sprach es alsbald aus, daß künftig das System der Chemie und das des Galvanismus identisch sein würden. Auch diese Voraussage hat er in das ihm gewohnte Gewand naturphilosophischer Theoreme gekleidet; wenn auch deren Beweise von uns als Schein geachtet werden

müssen, so bleibt dennoch die Tatsache bestehen, daß er die wissenschaftliche Entwicklung, welche die Chemie bald darauf für ein ein halbes Jahrhundert nahm und jetzt wieder genommen hat, als der erste richtig vorausgesehen hat.

So weite Ausblicke forderten zu eifrigster Arbeit auf, und Ritter war nicht der Mann, andere Sorgen, als die um die Entwicklung der Wissenschaft zu hegen. Mit glühendem Eifer wurde weiter geforscht, und eine flüchtige Aufzählung der gewonnenen Ergebnisse wird Ihnen, meine Herren, zeigen, wie viel von dem, was jetzt unser geistiges Eigentum ist, zu jener Zeit von dem einen Manne geschaffen wurde. Zuerst wurden die elektroskopischen Verhältnisse der Säule klargelegt, und das Verhältnis der Wirksamkeit zur Polspannung erforscht. Ritter kam hier zu gleichen Ergebnissen, wie in einer gleichzeitigen Arbeit der Berliner Professor Erman. Dann wies er die polare Zersetzung der Elektrolyte durch den Strom der gewöhnlichen Elektrisiermaschine nach. Zwar hatten schon lange vorher die „Amsterdamer Chemiker“ die Zerlegung des Wassers auf gleiche Weise nachgewiesen; sie hatten aber beide Gase gemengt an beiden Elektroden erhalten, und erst Ritter zeigte, daß sie sich getrennt erhalten lassen, wenn man den Versuch angemessen einrichtet. Noch überzeugender wird der Versuch, wenn man statt des Wassers Metallsalzlösungen zersetzt; insbesondere zeigte Ritter die Ausscheidung des Silbers an der Kathode und die Oxydation von Messingdrähten an der Anode. Gewöhnlich wird bei diesen Versuchen nur der Name Wollaston genannt, der gleichzeitig ähnliche angestellt hat; doch muß man Ritter das gleiche Recht an ihnen zusprechen, da beide unabhängig gearbeitet und gleichzeitig publiziert haben.

In diese Zeit fällt noch eine andere grundlegende Entdeckung Ritters: der Nachweis unsichtbarer Strahlen außerhalb des Violett des Sonnenspektrums. Er entdeckte diese ultravioletten Strahlen mittelst Chlorsilber, nach einer allerdings noch

sehr primitiven photographischen Methode. Sie alle wissen, daß auch noch heute kein besseres Mittel bekannt ist, in dies Gebiet des Unsichtbaren einzudringen, als die Anwendung lichtempfindlicher Schichten. Doch liegt diese Sache zu weit von unserem heutigen Zwecke ab, als daß ich dabei verweilen könnte.

Außer den genannten Arbeiten brachte das Jahr 1801 noch zwei lange Abhandlungen in der Form von Briefen an den Herausgeber der Annalen der Physik, Gilbert, in welchen zahlreiche einzelne Beobachtungen und noch mehr theoretische Auseinandersetzungen enthalten sind, aus denen sich indessen für unseren Zweck nichts besonderes herausheben läßt. Wir können sie um so eher übergehen, als wir alsbald wieder wichtigeres zu betrachten haben werden.

Ritter war durch seine Arbeiten schnell genug aus dem unbekannten Apotheker zu einem namhaften Forscher geworden, dessen Ruf vielleicht durch das, was uns an seinen Schriften heute abstößt, die naturphilosophische Einkleidung, zu jener Zeit besonders gewonnen hatte. Als der den Wissenschaften besonders geneigte Herzog Ernst II. zu Sachsen-Gotha daher den Wunsch hegte, sich durch eigene Anschauung mit den alle Welt erfüllenden Wundern der Voltaschen Säule bekannt zu machen, und dabei das Seine für den Fortschritt dieses vielversprechenden Gebietes zu tun, fiel seine Wahl auf Ritter als den geeignetsten Mann dazu, und er berief ihn nach Gotha, um dort auf seine Kosten Säulen zu bauen und Versuche mit ihnen anzustellen. Ritter nahm mit Freuden an; es ist dies ein Ereignis, von dem wir vorher die Andeutungen aus den Fragmenten kennen gelernt haben, und die Zeit, die nun folgte, ist ohne Zweifel die arbeitsreichste und glücklichste seines Lebens gewesen. Er bemerkt selbst später, daß die Veröffentlichung aller seiner Ergebnisse, die er in zwei Monaten fast ununterbrochener Arbeit Tag und Nacht gewonnen hatte, ihm etwa zwei Jahre Schreibarbeit kosten würde.

Leider dauerte dieser glückliche Zustand nicht allzu lange.

Der Herzog starb bald, nachdem eben eine sechszöllige Säule von 600 Paaren hergerichtet war, und Ritter kehrte nach Jena zurück, mit der Bearbeitung seiner Ergebnisse beschäftigt, und wie es scheint nicht ohne Sorgen um seinen Lebensunterhalt, die durch seine in diese Zeit fallende Verheiratung sich noch dringender gestalteten. Seine wissenschaftliche Tätigkeit litt darunter nicht.

Die erste Frucht seiner Arbeiten in Gotha war die Erfindung der trockenen Säule. Gewöhnlich wird diese Erfindung de Luc oder Zamboni zugeschrieben, doch sind deren Mitteilungen zehn Jahre später gemacht. Auch ist Ritter seinen Nachfolgern darin überlegen, daß er die Theorie dieser Säule vollkommen klargelegt hat; er wußte ganz genau, daß die trockene Säule nur wirkt, so lange sie eben nicht trocken ist: sie ist nichts, als eine gewöhnliche Voltasche Säule mit sehr großem Widerstande, in welcher die Spannungserscheinungen unvermindert vorhanden sind, dagegen die von der Leitung abhängigen nur in verschwindend geringem Grade. Besonders beachtenswert ist, daß es sich hier nicht um eine Zufallsentdeckung handelt, sondern Ritter hat seine trockene Säule mit der ausgesprochenen Absicht gebaut, die Abweichung ihrer Wirkungsweise von der der gewöhnlichen Säulen zur Aufklärung der Gesetze beider zu benutzen.

Unter den weiteren Ergebnissen erwähne ich weiter eine Untersuchung über die Bewegungserscheinungen des Quecksilbers im Kreise der Batterie. Es sind dies dieselben Vorgänge, welche Lippmann zur Konstruktion seines so überaus empfindlichen und brauchbaren Kapillarelektrometers geführt haben; Ritter hat sie, nachdem Volta eine flüchtige Bemerkung darüber gemacht hatte, zum erstenmale wissenschaftlich untersucht und die Bedingungen der Erscheinung klar erkannt. Diese Arbeit ist von um so größerem Interesse, als später gerade an diese Erscheinungen sich die Lösung der fundamentalen Aufgabe der Elektrochemie, die Bestimmung der wahren Spannungen, die

zwischen den verschiedenen Bestandteilen der Voltaschen Kette bestehen, hat knüpfen lassen. (67)

Den Hauptbestandteil der Arbeiten Ritters aus dieser Zeit bilden seine Untersuchungen über den Einfluß des elektrischen Stromes auf die verschiedenen Sinnesorgane, die ich schon vorher als Zeugnisse für die Rücksichtslosigkeit angeführt habe, mit der Ritter auch seinen eigenen Körper zu experimentellen Zwecken in Anspruch nahm. Wir können auf diese Arbeiten, deren eigentlichen Wert vielleicht erst eine ferne Zukunft wird schätzen können, hier nicht eingehen; bei ihnen macht sich zudem die naturphilosophische Neigung Ritters in so hohem Maße geltend, daß eine gewisse Selbstüberwindung dazu gehört, ihm durch den Wust von Polaritäten und dynamischen Wirkungen zu folgen, unter denen er seine Versuchsergebnisse begraben hat.

In das folgende Jahr 1803 fällt die Entdeckung, welche am engsten mit Ritters Namen verknüpft ist, die der Ladungssäule, oder, um einen Ihnen geläufigeren Namen zu gebrauchen, des Akkumulators oder elektrischen Sammlers. Die Geschichte dieser Entdeckung ist merkwürdig genug. In den oben erwähnten Arbeiten war Ritter unter dem Einflusse des Schlagwortes der Naturphilosophen, Polarität, auf den Gedanken geraten, daß sich alle physiologischen Wirkungen der Säule dahin formulieren lassen, daß bei der Öffnung des Stromes gerade das entgegengesetzte von dem eintritt, was bei dem Schlusse stattgefunden hatte. Es scheint unzweifelhaft, daß Ritter nicht selten den Tatsachen Zwang angetan hat, um sein Schema durchführen zu können; in dem Falle aber, der uns beschäftigt, ließ ihn sein Schema erwarten, daß, nachdem er einen Strom durch ein Leitersystem durchgeleitet hatte, nach dem Öffnen desselben ein entgegengesetzter Strom wieder aus dem Leiter heraustreten müßte. Bei rein metallischer Verbindung geschah nichts davon, wohl aber, wenn in dem Kreise eine Abwechslung von Leitern erster und zweiter Klasse vorhanden war.

Ganz neu war Ritters Entdeckung nicht; die Tatsache der Polarisation war etwas früher schon von einem französischen Forscher namens Gautherot beobachtet worden, indem dieser fand, daß zwei Platindrähte, die zur Wasserzersetzung gedient hatten, hernach auch ohne die Anwendung verschiedener Metalle auf der Zunge die bekannten galvanischen Geschmacksempfindungen hervorriefen. Diese waren zu jener Zeit neben dem Froschpräparat das einzige empfindliche Galvanoskop. Gautherot schloß aber nicht, daß es sich hier um eine neue Klasse elektrischer Erscheinungen handelt, sondern daß die Erscheinungen von einem Agens herrührten, das von der Elektrizität verschieden sei, da es am Metall haften bleibt, auch wenn dieses ableitend berührt wird.

Ritter warf sich mit gewohntem Feuereifer auf das neue Gebiet, und benutzte insbesondere die Lehre, welche ihm Voltas Entdeckung der Säule gegeben hatte; er baute alsbald auch eine Säule aus Kupfer und feuchten Pappscheiben, und erhielt, wie erwartet, mit dieser viel deutlichere Ladungserscheinungen, als mit einem einfachen Plattenpaar. Er stellte eine ganze Reihe von Eigenschaften seiner Ladungssäule fest, ermittelte, daß die Ladung zwar einige Zeit, aber nicht dauernd an den Metallen haften bleibt, wodurch gleichzeitig Voltas Auffassung widerlegt wurde, daß die Erscheinungen nur von der Bildung von Säure und Alkali an den Platten herrühre, fand, daß die Metalle um so besser sich laden lassen, je mehr sie sich dem negativen Ende der Spannungsreihe nähern, und verfehlte nicht, alsbald auch sehr weitreichende Erörterungen über die dadurch gewonnene Möglichkeit, die Wirkung der Säulen ins unbegrenzte zu steigern, anzustellen.

Ritters Entdeckung erregte verdientermaßen bedeutendes Aufsehen und hätte wohl den von Napoleon gestifteten galvanischen Preis verdient, um den er sich damals bewarb. Übrigens scheint auch Ritter zu jener Zeit einiges aus seinem Aufenthalt am Gothaer Hofe gelernt zu haben, denn er wußte

seine Entdeckung durch einen überaus „eleganten" Versuch, wie wir heute sagen würden, dem allgemeinen Interesse näher zu bringen. Er ließ sich ein Goldstück geben, „galvanisierte" dieses durch die Einschaltung in einen Stromkreis zwischen zwei nassen Pappen, und gab es dann dem Besitzer zurück, der es zu den anderen, die in seinem Besitze waren, tun mußte. Nach einiger Zeit bat er sich den ganzen Vorrat an Goldstücken wieder aus, und prüfte eines nach dem anderen mit Hilfe des präparierten Froschschenkels. Hierbei bewirkte nur das polarisierte einen Strom und dementsprechend eine Zuckung des Präparates, so daß er den galvanisierten Louisdor unter beliebig vielen anderen herauserkennen konnte. Die Sache machte in dieser Form einen großen Effekt und ging in die verschiedensten Zeitschriften über.

Das folgende Jahr bringt eine Entdeckung, von der die wenigsten wissen, daß sie von Ritter herrührt. Ihnen allen ist bekannt, daß eine ganz außerordentlich kleine Menge Zink genügt, um einer großen Menge Quecksilber die elektromotorische Stellung des Zinks zu geben. Dies ist zuerst von Ritter beobachtet und untersucht worden, und zwar bei Gelegenheit einer Arbeit über die elektromotorische Stellung der Legierungen im Verhältnis zu der der Bestandteile, die durch das Palladium veranlaßt war, welches damals gerade von einem englischen Chemiker Chenevix als eine Verbindung von Quecksilber mit Platin ausgesprochen wurde. Die interessanten Nebenumstände, welche mit dieser Sache verknüpft sind, kann ich hier nicht auseinandersetzen, zumal ich dies an einem anderen Orte bereits getan habe. (68)

Zu derselben Zeit beschäftigte sich Ritter mit einer anderen Erscheinung, die von dem Chemiker Buchholz zufällig entdeckt, von ersterem als galvanische erkannt worden ist, und ihm zu einer ganzen Anzahl feinsinniger Bemerkungen Anlaß gibt. Auch in diesem Falle finden wir unseren Forscher mit einem Vorgange beschäftigt, an welchen sich später eine außerordentlich folgenreiche Entwicklung angeschlossen hat. Denn dieser selbe Versuch von Buchholz ist derjenige, an welchen

Helmholtz seine theoretischen Untersuchungen angeschlossen hat, in deren Verfolg er lehrte, aus den Dampfspannungen der angewandten Lösungen die elektromotorische Kraft der entsprechenden Konzentrationskette zu berechnen, und so den Weg zeigte, auf welchem gegenwärtig das Problem der Voltaschen Kette im wesentlichen gelöst worden ist. Der Versuch besteht in folgendem: Man schichtet über eine konzentrierte Lösung von Zinnchlorür eine verdünnte Lösung desselben Salzes, oder auch verdünnte Salzsäure und taucht einen Stab von Zinn in die Flüssigkeiten so, daß er die Grenzfläche der beiden Lösungen durchschneidet. Ist dies geschehen, so sieht man in kurzer Frist in der konzentrierten Lösung metallisches Zinn sich ausscheiden, während sich in der verdünnten Zinn auflöst. Dies dauert so lange, bis beide Lösungen von gleicher Stärke sind, und die Ursache des Vorganges ist, daß das ursprüngliche System für sich nicht beständig ist, und erst zur Ruhe gelangen kann, wenn die Konzentration überall gleich ist. Da nun durch den galvanischen Vorgang dieser Endzustand schneller erreicht werden kann, als durch die Diffusion, so tritt eben der erste ein. Ritter hat nun die elektrische Natur, dieser ihrem Entdecker höchst rätselhaften Erscheinung richtig erkannt, und dabei das höchst wichtige, noch heute nicht genügend beachtete Prinzip ausgesprochen, daß ein chemischer Vorgang, um elektrisch wirksam zu sein, in zwei voneinander räumlich geschiedene, aber zeitlich aneinander gebundene Prozesse zerlegt werden muß. So ist z. B. im Daniellschen Element der chemische Vorgang die Ausfällung von Kupfer aus seiner Salzlösung durch metallisches Zink; damit dieser Vorgang aber elektrisch wirksam wird, darf man nicht die Ausscheidung des Kupfers und die Lösung des Zinks an einer und derselben Stelle stattfinden lassen, wie das beim einfachen Eintauchen des Zinks in die Kupferlösung eintreten würde, sondern beide Prozesse finden an verschiedenen Orten statt, die Auflösung des Zinks an der einen, und die Fällung des Kupfers an der anderen Elektrode.

Die Gesamtheit seiner aus unzähligen Versuchen gewonnenen Anschauungen faßte Ritter im Jahre 1805 in ein umfassendes Werk zusammen, welchem er den Titel „Das elektrische System der Körper" gab. Bei der Durchsicht desselben nehmen wir wahr, daß er den Höhepunkt seines Schaffens bereits überschritten hat. Zwar enthält es wieder eine Fülle wertvoller Beobachtungen, und an Weite und Größe seiner Gesichtspunkte übertrifft es die vorhergegangenen; aber — und darin merkt man den Verfall — die Selbstkritik, welche die schweifende Phantasie immer wieder zügelt, daß sie die Bahn der Wirklichkeit nicht verläßt, ist ihm unter dem narkotischen Einflusse der Naturphilosophie und unter dem Fortschreiten der Krankheit, die ihn verzehrte, mehr und mehr verloren gegangen. Und so sehen wir, daß der gesunde Grundgedanke seines Werkes, welcher der Leitgedanke seines ganzen wissenschaftlichen Arbeitens war, — daß nämlich die chemischen Eigenschaften der Stoffe in engstem Zusammenhange mit ihrem elektrischen stehen — ein Gedanke, welcher bald hernach in dem elektrochemischen System von Davy und Berzelius seine teilweise Verwirklichung fand, — wir sehen, daß dieser Gedanke durch unrichtige Behauptungen, durch fehlerhafte Schlußreihen verdeckt und der Mißachtung preisgegeben wird, und daß auf diese Weise Ritter selbst für lange Zeit den Acker zerstört, für dessen Urbarmachung er früher und mehr, als irgend einer seiner Zeitgenossen gearbeitet hatte.

Über die letzten Lebensjahre Ritters lassen Sie mich kurz hinweggehen. Er kam nach München, wurde dort in der mystischen Richtung, der er ohnehin zuneigte, bestärkt, und griff die ihm von seinem Freunde Weiß gesandte Nachricht, daß sich in Gargnano am Gardasee ein Mann befinde, welcher die Fähigkeit besäße, unter der Erde verborgene Wassermengen und Erzlager zu fühlen, mit Begierde auf. Er veranlaßte den Minister Montgelas, ihm die Mittel zur Prüfung der Sache zu bewilligen, und brachte bald hernach den Mann, Campetti mit Namen,

nach München. Durch die geheimnisvolle Art, mit der die Sache behandelt wurde, ward bald die Neugier weitester Kreise rege gemacht, und ein Spuk, der auf das lebhafteste an das Treiben der Tischrücker und Spiritisten gemahnt, begann sein Wesen zu treiben, und, wie man gestehen muß, unter tätiger Mitwirkung Ritters, der von der Realität der Erscheinungen völlig überzeugt war, und mit seiner gewohnten rücksichtslosen Selbstaufopferung für das eintrat, was er für wahr hielt. Zerwürfnisse mit der Akademie blieben nicht aus und verbitterten die letzten Lebenstage Ritters. Am 23. Januar 1810 ging der Mann, der im Leben sich nie Ruhe hatte gönnen mögen, zur ewigen Ruhe ein. Er hatte nur ein Alter von 33 Jahren erreicht.

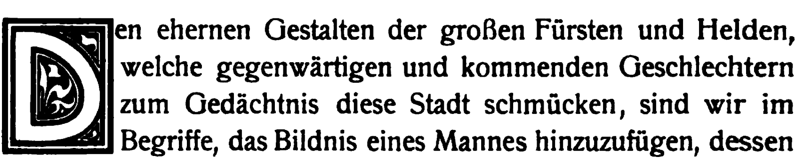
Meine Herren! Das Bild, welches wir eben an unserem Auge haben vorüberziehen sehen, ist nicht das eines jener Heroen der Wissenschaft, deren Arbeit und Persönlichkeit in geschlossener Ruhe, in klassischer Strenge vor uns steht, und an deren Größe wir staunend emporblicken, ohne den Mut zu haben, es ihnen gleichtun zu wollen. Nein, wir sahen einen Mann, der zeitlebens an den Schwierigkeiten getragen hat, welche die Ungunst äußerer Verhältnisse, die Unausgeglichenheit einer in stetem Kampf um das bloße Leben erworbenen Bildung ihm in den Weg gelegt haben. Kein Buch hat er hinterlassen, das man dem Schüler in die Hand geben kann mit der Weisung: hier findest du das, was du brauchst; — kaum eine seiner zahlreichen Entdeckungen hat er in eine Form prägen dürfen, welche unverändert die Jahrhunderte zu überdauern fähig wäre. — Und dennoch nehmen wir von ihm mit dem Gefühle Abschied, daß wir einem großen Manne begegnet sind. Was unzulänglich an ihm war, ist der Schwierigkeit seiner Verhältnisse, seinem Kampf mit der verzehrenden Krankheit zuzuschreiben. Aber über alle Unzulänglichkeit erhebt sich die Gestalt des Helden, der seine ganze Person einsetzt für seine Ideale, dessen ganzes Leben nur den einen Zweck kennt: die Erforschung der Wahrheit.

2

EILHARD MITSCHERLICH

(Rede, gehalten bei der Enthüllung des Mitscherlich-Denkmals in Berlin am 1. Dezember 1894.)

Hochansehnliche Versammlung!



Den ehernen Gestalten der großen Fürsten und Helden, welche gegenwärtigen und kommenden Geschlechtern zum Gedächtnis diese Stadt schmücken, sind wir im Begriffe, das Bildnis eines Mannes hinzuzufügen, dessen Leben sich arm an äußeren Ereignissen, fern vom regen Treiben des Tages, in steter ruhiger Arbeit vollzogen hat. Haben wir das Recht, für einen solchen Mann zu beanspruchen, daß seine Gestalt die allgemeine Aufmerksamkeit heischt, daß künftig die an diesem Orte Vorübergehenden einander sagen: dies ist Eilhard Mitscherlich!

Daß ich diese Frage in diesem Augenblicke stelle, sagt bereits, daß ich sie bejahen muß. Ja, den Fürsten und Helden dürfen wir den Mann zurechnen, vor dessen noch verhülltem Bilde wir stehen, denn er war ein Fürst im Reiche des Geistes und ein Held im Kampfe um das Licht. Und gerade in dieser Stadt, wo uns auf Schritt und Tritt die glorreichen Erinnerungen der Freiheitskriege entgegentreten, dürfen wir sein Standbild errichten, denn auch er ist einer der Helden des Befreiungskrieges, den die deutsche Wissenschaft gegen eine Knechtschaft

zu führen gehabt hatte, die kaum minder schmachvoll war, als jene andere, von der Blücher und Scharnhorst uns befreit haben. Denn ebenso, wie nach den glänzenden Tagen des großen Friedrich solche des Niederganges und der Schande gefolgt waren, so war nach dem strahlenden Lichte, das die großen Denker und Dichter des vorigen Jahrhunderts über unser Vaterland ergossen hatten, mit erschreckender Schnelligkeit ein Nebel heraufgezogen, dessen Trugbilder die hohen Firnen der Erkenntnis, denen wir nur um den Preis harter Arbeit zu nahen vermögen, in nächster Nähe erscheinen ließen und die zur Arbeit berufenen von dieser fortlockten, daß sie den Gespenstern der Naturphilosophie nachjagten. Wahrlich ein starkes Herz und ein scharfer Geist gehörten dazu, um durch die Finsternis zu dringen, bis der Nebel überwunden zu den Füßen lag, und der Blick von dem erreichten Gipfel zu fernen Höhen schweifen konnte.

Ein solcher Mann war er. Auf weitem Umwege, durch sprachliche und ärztliche Studien war er zu dem Pfade der Naturwissenschaften gelangt, auf welchem er so bald die Führerschaft übernehmen sollte. Mit seinen ersten selbständigen chemischen Arbeiten beschäftigt, noch ohne Kenntnis der krystallographischen Wissenschaft, die in entscheidender Weise zu fördern er berufen war, bemerkt er das Vorhandensein einer Beziehung zwischen der Form und der Zusammensetzung der von ihm dargestellten Stoffe. Er studiert Krystallographie bei dem Freunde seines Lebens, bei Gustav Rose, und nach kurzer Frist vermag er das, was er geahnt, in wissenschaftlicher Form auszusprechen, und er findet in dem Begriff des Isomorphismus den Zauberstab, welcher nicht nur die junge Wissenschaft der Krystallographie von der Erstarrung befreite, in die sie eben zu versinken begann, sondern auch ihr ein ungeahnt reiches neues Leben schenkte.

Ja, wie eine Siegfriedgestalt tritt er uns entgegen, mit einem Schlage sich einen Weltruhm, eine Lebensstellung und die bis

zum Tode währende Freundschaft des größten der damals lebenden Chemiker, Berzelius, erringend. Selten wohl zeigt sich die Vereinigung widersprechender Eigenschaften, welche den großen Entdecker machen, so deutlich wie bei diesem Manne und seinem Werke. Die Kühnheit des Denkens, welche vor dem Unerwartetsten nicht zurückschreckt, die fast nachtwandlerische Sicherheit des Ahnens, die selbst im Wirrsal noch unbeherrschter Erscheinungen das große allgemeine Gesetz zu erschauen vermag, und endlich die kühle, kritische Ehrlichkeit, mit welcher alles nötige zur Prüfung und Sicherung des Erlangten beschafft wird, — alles war vorhanden, um ein Werk gelingen zu lassen, an dem zwar der Meister selbst in der Folge noch einiges zu ergänzen und zu verbessern gefunden hat, das die Nachwelt aber fast völlig so gelassen hat, wie sie es aus seiner Hand empfangen.

Wir, die wir uns des Lichtes erfreuen, das er uns geschenkt, wir freuen uns auch dankbaren Herzens, daß hier Verdienst und Glück wie selten zusammengetroffen sind, und daß er ein langes Leben hindurch des so früh erworbenen Ruhmes hat froh werden dürfen. Und doch! — wenn wir sein wissenschaftliches Leben weiter an uns vorüberziehen lassen, wie es sich in seinen Arbeiten spiegelt, — wir fühlen mehr, als daß wir ihn gewahren, einen Schatten; wir sehen, daß zwar sein Arbeitsdrang nicht abnimmt, daß aber eine seltsame Scheu ihn hindert, diese Arbeiten der Öffentlichkeit mitzuteilen. Statt der ausführlichen Abhandlungen seiner jüngeren Jahre sehen wir ihn nur noch kurze Auszüge mitteilen, und schließlich sind die Titel der von ihm der Akademie vorgetragenen Abhandlungen die einzige Spur, welche er von seiner rastlosen Tätigkeit an die Außenwelt gelangen läßt. — Was ist das für ein Schatten, der je länger je mehr auf ihm gelastet, trotzdem, daß neben dem äußeren noch ein inneres häusliches Glück, der Segen eines harmonischen Familienlebens, seinen Weg erheitert?

Es mag vermessen erscheinen, wenn einer, der nie einen

Blick in das persönliche Leben des großen Mannes hat tun können, es unternimmt, dieses Rätsel zu lösen. Aber versuchen wir, uns ganz in seine Seele zu versetzen, so müssen wir ihm nachfühlen, daß eben das, was wir noch als ein großes Glück gepriesen haben, daneben eine schwere, schwere Last gewesen sein muß. Ja, es war ihm gegeben worden, ein großes Werk zu tun, das die Jahrhunderte zu überdauern bestimmt war. Aber es war ihm auch gegeben, daß seine erste wissenschaftliche Tat auch seine größte bleiben mußte. Er mußte sich sagen, daß mehr als ein solches Werk zu tun, keinem Sterblichen gegönnt ist, und es war daher bestimmt, daß alles, was er ferner tun mochte, zwar keinem Werke eines anderen nachzustehen brauchte, immer aber seinem eigenen ersten Werke nachstehen mußte. Der blendende Glanz seiner ersten Leistung mußte unvermeidlich alle seine späteren Leistungen in den Schatten stellen, und ihm war auferlegt, sich durch sein ganzes übriges Leben selbst im Lichte zu stehen.

Wahrlich, wenn ein Glück schwer zu tragen ist, so ist es ein solches, wie es Eilhard Mitscherlich beschieden war. Und gleichsam, als weilte er unter uns, als könnte er hören, daß wir nicht nur das Werk preisen, für das die ganze Welt ihm zu danken hat, sondern auch mit warmem Herzen nachzufühlen suchen, was er um dieses Werk hat tragen müssen, gleichsam, als könnte es ihm ein Trost sein, daß wir ihn auch hierin zu verstehen suchen, habe ich diese Worte gesprochen. Zu jeder Tat, auch zu der wissenschaftlichen, gehört ein ganzer Mensch, im Empfinden nicht minder kräftig, als im Denken, und es hieße ihn verkleinern, nicht ihn loben, wenn wir glauben wollten, daß jene Fügung nicht auf ihm gelastet hätte. Zwar seine Arbeitskraft vermochte sie nicht zu brechen. Wichtige Gebiete der physikalischen und der organischen Chemie, der Geologie, der Biologie der kleinsten Lebewesen hat er erforscht, und vieles ist darunter, was genügt hätte, einem anderen weiten Ruf zu schaffen. Aber von allen diesen Forschungen erscheint

keine in solchem Glanze, wie jene erste. Zum Teil deshalb, weil sie ihrer Zeit weit voraus waren. Die Bedeutung seiner Entdeckungen über die Beziehungen zwischen Benzoesäure und Benzol wurde erst in viel späterer Zeit gewürdigt, und in seinen bakteriologischen Untersuchungen ist er auf weit richtigeren Wegen wie die meisten seiner Zeitgenossen. Vieles von dem, was er erarbeitet hat, harrt noch der Mitteilung. Von der pietätvollen Hand seines Sohnes dürfen wir ein zweites Denkmal, das seiner gesammelten Werke, erwarten, und erst dann wird sich uns die ganze Größe des Mannes auftun, von dem wir nur die eine, glänzendste Seite zu sehen gewohnt waren (69). Dann wird es uns deutlicher entgegentreten, als ich es heute durch mein schwaches Wort vermocht habe, daß auch Eilhard Mitscherlich einer jener echten Göttersöhne war, von welchen gesagt ist:

> Das Werdende, das ewig wirkt und lebt,
> Umfaß euch mit der Liebe holden Schranken,
> Und was in schwankender Erscheinung schwebt,
> Befestiget mit dauernden Gedanken!

Und nun, nachdem wir versucht haben, uns das geistige Bild des Verehrten zu vergegenwärtigen, sehnen wir uns, auch seine körperliche Erscheinung zu schauen, wie sie einstmals an diesen Stätten gewandelt ist, und wie die schaffende Hand des Künstlers sie der fernen Nachwelt gebildet und bewahrt hat.

So falle denn die Hülle, welche das Denkmal noch umgibt, das fernen Geschlechtern zu verkünden bestimmt ist den Ruhm Eilhard Mitscherlichs!

3

FRIEDRICH STOHMANN

(Gedenkrede, gehalten in der Leibniz-Sitzung der Königl. Sächs. Gesellschaft der Wissenschaften zu Leipzig am 13. November 1897.)

Am 1. November 1897 verschied nach kurzer Krankheit im 65. Lebensjahre Friedrich Stohmann. Er war seit dem April 1891 Mitglied unserer Gesellschaft, deren Schriften eine Reihe von zehn wertvollen Abhandlungen aus seiner Feder enthalten. Noch kurz vor seinem Tode war er mit der Fertigstellung einer elften letzten Arbeit beschäftigt, die er der Gesellschaft vorzulegen gedachte; es ist zu hoffen, daß ihre Ergebnisse uns und der Wissenschaft nicht verloren gehen werden, wenn es ihm auch nicht vergönnt war, sie vollständig abzuschließen.

Friedrich Stohmann wurde 1832 in Bremen als Sohn eines vermögenden Kaufmannes geboren. Ursprünglich zum praktischen Chemiker und Fabrikleiter bestimmt, hat er, getrieben von der unbezwinglichen Sehnsucht nach der Betätigung im Gebiete der reinen Wissenschaft, sich unter Mühen und persönlichen Opfern langsam zu einer Stellung durchgearbeitet, welche seinem Ideal entsprach. Nachdem er seine Studien unter Wöhler in Göttingen und unter Hofmann in London gemacht hatte, fand er am letzteren Orte eine Tätigkeit als Assistent bei Graham. Von dort begab er sich in seine Heimat, um eine seinem Vater gehörige chemische Fabrik zu über-

nehmen, gab wegen widriger Verhältnisse diese Tätigkeit aber bald auf und widmete sich, zuerst als Assistent, dann als Leiter landwirtschaftlicher Versuchsstationen in Celle, Braunschweig, München und Halle Aufgaben, die sich aus der Anwendung der Chemie und Physiologie der Pflanzen und Tiere auf die Landwirtschaft ergaben. Von den zahlreichen Veröffentlichungen aus dieser Periode sei auf die gemeinsam mit Henneberg 1860 und 1864 herausgegebenen „Beiträge zur Begründung einer rationellen Fütterungslehre der Wiederkäuer" hingewiesen, welche seinen Ruf begründeten und als ein grundlegendes Werk für die Ernährungsphysiologie der Haussäugetiere noch heute angesehen werden müssen.

Außer dieser umfassenden Arbeit, die er später durch einen 1873 erschienenen Band „Biologische Studien" ergänzte, hat er zahlreiche andere Abhandlungen aus den verschiedensten Gebieten der angewandten Chemie veröffentlicht, deren Gesamtheit ihm einen so hohen Rang unter den Arbeitsgenossen verschaffte, daß er 1871 an die Universität Leipzig mit dem Auftrage berufen wurde, ein biologisch-chemisches Laboratorium einzurichten. In diesem konnte er ohne Beschränkung durch die Bedürfnisse der praktischen Tagesarbeit sich der rein wissenschaftlichen Tätigkeit widmen, welche von jeher das höchste Ziel seines Strebens gewesen war, und er hat oft bezeugt, daß er in dieser Richtung mit seinem Leipziger Amt alles erreicht hatte, was er wünschen und hoffen konnte.

Auch die erste Zeit seiner Leipziger Tätigkeit war mit Arbeiten über Ernährung und Stoffwechsel der Tiere ausgefüllt. Aber unwiderstehlich drängte sich ihm die Überzeugung auf, daß der Stoffwechsel nur der äußere Rahmen für den viel wichtigeren, ja schließlich allein maßgebenden Energiewechsel im Haushalte der Organismen ist, und aus seiner Wendung auf die hier vorliegenden Probleme hat sich in der Folge seine Zugehörigkeit zu unserer, der reinen Wissenschaft allein gewidmeten Gesellschaft ergeben.

Die Frage nach dem Energiehaushalt der höheren Tiere läßt sich auf verhältnismäßig einfache Formen bringen. Denn da die stickstofffreien Nährstoffe zum allergrößten Teile die gleiche Umwandlung erfahren, welche bei einer Verbrennung im freien Sauerstoff vor sich geht, so ergibt die Verbrennungswärme dieser Nährstoffe unmittelbar den Gesamtbetrag der dem Organismus aus ihnen zukommenden Energie. Bei den stickstoffhaltigen Nährstoffen entsteht zwar nicht, wie bei der gewöhnlichen Trennung, freier Stickstoff, sondern der seinerseits noch einer Oxydation fähige Harnstoff. Doch hier handelt es sich nur noch darum, auch die Verbrennungswärme des Harnstoffes zu messen; zieht man diese von der des stickstoffhaltigen Nährstoffes ab, so ergibt der (für dieselbe Stickstoffmenge beiderseits) berechnete Unterschied den Betrag der im Organismus verwendeten Energie.

Nun war noch vor zwanzig Jahren unsere Kenntnis dieser Größen äußerst dürftig. Zwar lagen einerseits schon recht genaue Messungen von Verbrennungswärmen vor, sie bezogen sich aber nur zum kleinen Teil auf die physiologisch wichtigen Stoffe, da diese der Messung große Schwierigkeiten entgegensetzten. Andererseits hatte Frankland durch ein besonderes Verfahren die Schwierigkeiten zu überwinden gesucht und eine Reihe von Messungen mitgeteilt; über die Genauigkeit der erhaltenen Ergebnisse war indessen noch kein sicheres Urteil möglich.

An diesem Punkte griff Stohmann ein. Zunächst entwickelte er die Franklandsche Methode mit der ihm eigentümlichen Sorgfalt und Gewissenhaftigkeit, bestimmte die erforderlichen Konstanten und führte nach ihr eine große Reihe von Messungen aus. Als aber einige Jahre später die von Berthelot und Vieille ausgearbeitete Methode der „kalorimetrischen Bombe" sich als ein allseitig brauchbares und zuverlässiges Verfahren erwies, zögerte er nicht, die Möglichkeit einer Prüfung seiner Zahlen alsbald zu benutzen. Nachdem ihm die sächsische

Staatsregierung mit gewohnter Bereitwilligkeit für die Unterstützung wissenschaftlicher Arbeiten die erheblichen Mittel zur Beschaffung der kostbaren Apparate und Einrichtungen bewilligt hatte, ging Stohmann nach Paris, um sich vom Erfinder selbst in der Handhabung des Apparates unterrichten zu lassen. Es sollte nicht lange dauern, so übertraf der Schüler den Lehrer; in der Tat können Stohmanns thermochemische Messungen in ihrer Gesamtheit als die genauesten bezeichnet werden, die in unserer Zeit ausgeführt worden sind.

Mit dem neuen Apparat wurden zunächst die für den Stoff- und Energiewechsel der Tierorganismen maßgebenden Werte nochmals gemessen und, wo erforderlich, verbessert. Aus dem gewonnenen Zahlenmaterial ergaben sich aber alsbald Schlüsse allgemeinerer Art, und diese Richtung der Arbeit, die Frage nach dem Zusammenhange des Energieinhaltes organischer Verbindungen mit deren Zusammensetzung und Konstitution, fesselte von nun ab völlig Stohmanns Aufmerksamkeit. In der Tat verdanken wir ihm einen ganz erheblichen Teil unserer Kenntnisse auf diesem mannigfaltigen und interessanten Gebiete.

Was bis dahin bekannt war, läßt sich wesentlich dahin zusammenfassen, daß für gleiche Unterschiede der chemischen Zusammensetzung auch gleiche Unterschiede der Verbrennungs- und somit der Bildungswärme auftreten. Diesen Satz in weitem Umfange geprüft und vielfach bestätigt zu haben, ist ein erstes Verdienst Stohmanns.

Doch zeigte sich bald, daß dieses Gesetz nicht streng richtig sein kann. Nach ihm sollte nur die chemische Zusammensetzung für die Verbrennungswärme maßgebend sein, so daß isomeren Verbindungen die gleiche Verbrennungswärme zukommen müßte. Die älteren, weniger genauen Messungen ließen in dieser Beziehung keine erheblichen Unterschiede erkennen, und in Stohmanns ersten Abhandlungen tritt unverkennbar die Neigung hervor, beobachtete Unterschiede solcher

Art Versuchsfehlern zuzuschreiben. Indessen machte die gesteigerte Genauigkeit der Messungen eine solche Auffassung bald unmöglich und es wurde notwendig, konstitutive Einflüsse anzuerkennen und womöglich ihrerseits gesetzmäßig zu begreifen.

Auf diesem weit feineren und schwierigeren Gebiete hat sich unser Forscher bald sicher bewegen gelernt und interessante Ergebnisse erlangt. Das interessanteste unter ihnen ist die völlig neue und unerwartete Entdeckung des Parallelismus zwischen der Verbrennungswärme und der elektrolytischen Dissoziationskonstante isomerer organischer Säuren. Zuerst an wenigen Beispielen erkannt, hat diese Beziehung sich durch Stohmanns Bemühungen als sehr allgemein erwiesen, so daß unzweideutige Ausnahmen von ihr noch nicht beobachtet worden sind.

Von weiteren Ergebnissen sind die Gesetzmäßigkeiten zu nennen, die sich bei den organischen Aminbasen zeigen, je nachdem die Substitution der Alkyle am Stickstoff oder am Kohlenstoff stattfindet, ferner die sehr bemerkenswerten Regelmäßigkeiten bei der Hydrierung geschlossener Ringe. Den beteiligten Mitgliedern der Gesellschaft werden diese Dinge noch nach den Vorträgen unseres dahingeschiedenen Genossen in persönlicher Erinnerung sein.

Es war nur eine gerechte Anerkennung der Bedeutung dieser Arbeiten, daß unsere Gesellschaft Stohmann 1891 zu ihrem ordentlichen Mitgliede wählte. Von Stohmann, der auf den rein wissenschaftlichen Teil seiner Tätigkeit das größte Gewicht legte, wurde diese Anerkennung sehr lebhaft empfunden.

Suchen wir schließlich das Bild der wissenschaftlichen Persönlichkeit Stohmanns uns zu vergegenwärtigen, so wird vielleicht ein Gleichnis dazu am dienlichsten sein. Wie man die optischen Instrumente auf den Typus des Fernrohres und des Mikroskopes zurückführen kann, so lassen sich auch die meisten Naturforscher unter entsprechende Typen bringen. Den

einen ist es gegeben, mit umfassendem Weitblick das Ferne zu erschauen und es uns nahe zu bringen; die anderen dringen umgekehrt in die feinen und feinsten Einzelheiten eines engeren Gebietes ein, und nur ganz selten finden sich Naturen, die so reich angelegt sind, daß sie mit beidem wechseln können. Stohmann gehörte durchaus zur zweiten Klasse. Gewissenhaftigkeit und Sorgfalt der Arbeit, unermüdliche Prüfung und Verbesserung der Methoden, um die bestmöglichen Ergebnisse zu erlangen, sind die Eigenschaften, welche vor allem seine Tätigkeit kennzeichnen. Irrtümer sind auch ihm nicht erspart geblieben; aber – und dies ist nicht sein kleinster Ruhmestitel — er ist es fast immer selbst gewesen, der sie entdeckt und verbessert hat.

Welche von diesen beiden Begabungen die höhere ist, wer wollte es entscheiden? Wissen wir doch, daß in letzter Linie Mikroskop und Fernrohr auf dem gleichen Prinzip beruhen; sie erweitern unseren Sehwinkel. So müssen wir allen den Forschern dankbar sein, welche unseren wissenschaftlichen Sehwinkel erweitern, sei es auf dem einen oder dem anderen Wege. Und darum wird die Gesellschaft auch dem geschiedenen Arbeitsgenossen ein treues Andenken bewahren.

4

GUSTAV WIEDEMANN

(Gedenkrede, gehalten in der Leibniz-Sitzung der Königl. Sächs. Gesellschaft der Wissenschaften zu Leipzig am 14. November 1899.)

Am 23. März 1899 starb Gustav Wiedemann, nach dem kurz vorhergegangenen Tode seines Fachgenossen und Amtsvorgängers Hankel eines der ältesten Mitglieder unserer Klasse. In ihm hat nicht nur unsere Gesellschaft ein hervorragendes Glied verloren, sondern die ganze wissenschaftliche Welt betrauert den Verlust des hochangesehenen und weitberühmten Gelehrten.

Gustav Wiedemann wurde am 2. Oktober 1826 als Sohn eines Kaufmannes in Berlin geboren. Er verlor beide Eltern früh durch den Tod, erhielt aber durch die Sorgfalt seiner Verwandten eine ausgezeichnete Erziehung, die ihm schon in frühen Jahren die Neigung zu den Naturwissenschaften erweckte. Zu jener Zeit war es noch möglich, daß der Direktor eines Gymnasiums gleichzeitig ein angesehener Forscher in der Physik war; in dem Cölnischen Gymnasium, das Wiedemann besuchte, wurde er durch dessen Direktor August, den Erfinder des Psychrometers, in die Laufbahn gelenkt, die er mit so großen Erfolgen später durchmessen sollte. Von großem Einflusse waren auf ihn zu jener Zeit sein Lehrer, der jüngere Seebeck und sein Onkel Gruel, der Mechaniker. Helm-

holtz kennzeichnet den letzteren als einen gefälligen Mann von sinnreichen Einfällen, der jungen Physikern von beschränkten Mitteln gern zu billigen und doch zweckmäßigen Apparaten verhalf. In des letzteren Werkstätte hat sich Wiedemann die ersten Erfahrungen in der Herstellung zweckmäßiger und einfacher Apparate erworben, die ihm bei seinen späteren Forschungen so gut zu statten kam.

Auch seine Universitätsstudien vollendete Wiedemann in Berlin. Hier legte er den Grund zu dem umfassenden Wissen, das wir alle an ihm bewundert haben. Neben mathematischen Studien, die er in den Vorlesungen bei Dirichlet und Joachimsthal, und privatim mit seinem Freunde Helmholtz durch das Durcharbeiten der mathematischen Klassiker pflegte, hat er Physik bei Dove und Magnus und Chemie bei Mitscherlich, Rose und Sonnenschein nicht nur gehört, sondern praktisch geübt.

Den größten Einfluß übte auf ihn Gustav Magnus aus. Magnus war einer der merkwürdigen Männer, die bei mäßiger eigener Begabung durch die Gesamtheit ihres Einflusses die besten unter ihren jüngeren Zeitgenossen heranzuziehen und in ihnen die Keime zu entwickeln wissen, die ihrer persönlichsten Eigenart entsprechen. Während man nicht von einer Magnusschen Schule in solchem Sinne sprechen darf, daß er einen Kreis von jüngeren Männern mit seinen Gedanken erfüllt und zur Mitarbeit an seinen eigenen Arbeiten herangezogen hätte, besteht doch die Tatsache, daß er die einflußreichste Schule von Physikern in Deutschland ins Leben gerufen und erhalten hat. Er erzielte dies, indem er mit größter Bereitwilligkeit jeden, der ernsthaft arbeiten wollte, mit den reichen Mitteln seiner Privatsammlung unterstützte, und ihm soviel Führung angedeihen ließ, als er brauchte, um auf eigenen Füßen stehen zu können. Dann ließ er ihn ungestört weiter arbeiten, und hatte oft genug die selbstlose Freude, daß ihm seine Schüler schnell über den Kopf wuchsen.

Ein weiterer für den Erfolg der Magnusschen Lehrmethode wichtiger Umstand ist der, daß Magnus in gleichem Maße Physiker wie Chemiker war. Als einer der letzten jener Reihe hervorragender Forscher aus der ersten Hälfte des neunzehnten Jahrhunderts, denen diese beiden Wissenschaften durchaus eine Einheit waren, hat er in beiden Richtungen Anregungen gegeben und Schüler ausgebildet. Bei keinem vielleicht ist diese Ausdehnung des Gesichtsfeldes so erhalten geblieben, wie gerade bei Gustav Wiedemann.

So sehen wir den jungen Forscher in Magnus' Laboratorium die schöne Entdeckung machen, daß die Ausbreitung einer elektrischen Ladung auf einer Kristallplatte in Kreisen oder Ellipsen, je nach der kristallographischen Beschaffenheit der Platte, erfolgt. Gegenwärtig erscheint uns ein solches Verhalten als notwendig; damals war es im Gegenteil so unerwartet, daß Magnus es nicht glauben wollte, und auf die Demonstration durch seinen Schüler in komischem Zorne ausrief: „Wiedemann, Sie haben auch mehr Glück, als — nötig ist!"

Andererseits sehen wir Wiedemann chemische Arbeiten selbständig verfolgen, und seine Doktordissertation enthält die Entdeckung eines Abkömmlings des Harnstoffes, des Biurets, desselben Stoffes, der durch seine Anwesenheit unter den Abbauprodukten der Eiweißstoffe schon jetzt so wichtig ist und wohl noch wichtiger werden wird.

Die Schrift, mit welcher sich Wiedemann 1850 in Berlin habilitierte, war wieder physikalischen Inhaltes; sie enthielt eine genauere Untersuchung der Verhältnisse bei der elektromagnetischen Drehung der Polarisationsebene.

Die wissenschaftlichen Verhältnisse, unter denen sich Wiedemann in Berlin entwickelte, waren damals äußerst günstig. Es hatte sich soeben ein Kreis gleichstrebender jüngerer Naturforscher zusammengetan, um durch regelmäßige Besprechungen sich gegenseitig zu fördern. Dieser physikalischen Gesellschaft gehörten Helmholtz, Clausius, du Bois-Reymond,

Beetz an, und hier wurden viele von den Gedanken, die seitdem der Wissenschaft neue Bahnen geöffnet haben, zuerst ausgesprochen und erörtert.

Während seiner Berliner Privatdozentenzeit begann Wiedemann bereits seine Arbeiten über elektrische Endosmose und die anderen Eigenschaften elektrolytischer Lösungen, die so viel zu der Entwicklung beigetragen haben, welche in der letzten Zeit gerade in diesem Gebiete stattgefunden hat.

Andererseits fällt in die gleiche Zeit die mit Franz zusammen gemachte Entdeckung der Proportionalität zwischen Elektrizitäts- und Wärmeleitung durch reine Metalle.

Eine solche Fülle erfolgreicher Arbeit mußte die Augen der wissenschaftlichen Welt bald auf den jungen Forscher lenken. Er wurde bereits Ostern 1854 nach Basel als ordentlicher Professor der Physik berufen. Hier hatte er reichlich Gelegenheit, die bei seinem Onkel Gruel erworbene Geschicklichkeit in der Erbauung von einfachen Apparaten zu bewähren, denn die ihm zur Verfügung stehenden Mittel waren äußerst beschränkt. Trotzdem förderte er nicht nur seine elektrochemischen Forschungen in erheblicher Weise, sondern begann eine Reihe sehr wichtiger Arbeiten über die Beziehungen der magnetischen und mechanischen Erscheinungen. Diese Forschungen haben ihn durch sein ganzes späteres Leben begleitet, und noch in seinen letzten Jahren stellte er gelegentlich Versuche in der gleichen Richtung an.

Ein anderer Umstand ist für seine wissenschaftliche Entwicklung zu derselben Zeit wesentlich geworden. Sein nächster Kollege in Basel war der Chemiker Schönbein, mit dem er nicht nur amtlich, sondern auch persönlich in enge Beziehungen trat. Die wissenschaftliche Bedeutung Schönbeins wird erst in unseren Tagen ganz erkannt werden, wo die von ihm in so umfassender Weise studierten Erscheinungen der Katalyse endlich die Aufmerksamkeit der Forscher auf sich zu ziehen beginnen. Für Wiedemann hatte dieser Einfluß den Erfolg,

daß er trotz der rein physikalischen Arbeiten, mit denen er damals beschäftigt war, die Beziehungen zur Chemie nicht vergaß oder vernachlässigte.

Im Jahre 1863 verließ Wiedemann Basel, um sein Heim wieder in Deutschland aufzuschlagen. Er wurde zunächst Professor der Physik an der technischen Hochschule in Braunschweig, wo er wieder physikalisch-chemischen Forschungen oblag. Er entdeckte das additive Gesetz für den Magnetismus der chemischen Verbindungen, und begann Untersuchungen über den Dampfdruck kristallwasserhaltiger Salze, die ihm noch vor Debray zu der Entdeckung führten, daß dieser Druck nur von der Temperatur, nicht aber von den relativen Mengen der anwesenden Stoffe abhängig ist.

Nach weiteren drei Jahren folgte Wiedemann einem Rufe nach Karlsruhe, wo er reichlichere Mittel, aber auch reichlichere Arbeit antraf; so mußte er insbesondere die meteorologischen Landesbeobachtungen organisieren. Trotzdem sehen wir ihn auch hier sich immer neue Arbeitsgebiete suchen: Die Entladungserscheinungen in Gasen, die seitdem eine so reiche Quelle merkwürdiger Entdeckungen geworden sind, hat er zuerst messend in Angriff zu nehmen gewagt, und seine darüber mit Rühlmann gemeinsam durchgeführten Arbeiten haben für viele andere den Ausgangspunkt gebildet.

Im Jahre 1870 endlich nahmen die Wanderjahre, welche die erste Lebenshälfte des deutschen Gelehrten auszufüllen pflegen, ein Ende. Er folgte einem Rufe nach Leipzig als Professor der physikalischen Chemie — damals der einzige ordentliche Lehrstuhl für dieses Fach — und ist zuerst siebzehn Jahre in diesem Amte, und dann noch elf Jahre als Physikprofessor, also insgesamt mehr als ein Vierteljahrhundert der Unsere gewesen.

Die wissenschaftlichen Arbeiten, mit denen sich Wiedemann hier beschäftigte, waren größtenteils Erweiterungen und Fortsetzungen seiner früher genannten Forschungen. Erwähnung

verdient sein Verfahren, aus dem Unterschied im Magnetismus des kolloidalen Eisenoxydes von dem der Ferrisalze Schlüsse über die chemischen Gleichgewichtsverhältnisse zu ziehen. Wenn auch die Bedingungen in diesem Falle zu kompliziert waren, um die allgemeinen Gesetze der chemischen Verwandtschaft erkennen zu lassen, so hatte die Arbeit doch die große Bedeutung, daß sie lehrte, wie die damals als hoffnungslos angesehene Aufgabe der Ermittlung des Zustandes der Stoffe in Lösung in einem bestimmten Falle quantitativ durchgeführt werden konnte. Besonders muß noch seine Arbeit über die absolute Bestimmung des elektrischen Widerstandes des Quecksilbers genannt werden, welche er mit den von Weber und Zöllner nachgelassenen Apparaten, die er weiter verbessert hatte, durchführte. Unsere Gesellschaft ist bei dieser Arbeit noch unmittelbar beteiligt gewesen, indem sie ihrem Mitgliede die Mittel zur endgültigen Berechnung der ausgedehnten Messungen zur Verfügung stellte.

Rechnen wir hierzu, daß er in seiner Leipziger Tätigkeit einen immer größeren Kreis von Schülern um sich zu versammeln gewußt hat, und daß er, als durch den fast gleichzeitigen Rücktritt Hankels und Tod Kolbes sowohl der Lehrstuhl der Physik wie der der Chemie verwaist war, in einem Semester beide Fächer las, so haben wir eine Summe von Lebensarbeit vor uns, deren Leistung durch einen Mann die höchste Achtung fordert. Wiedemanns Verdienste sind aber damit nur zur kleineren Hälfte bezeichnet; denn noch ausgezeichneteres wie als Forscher und Lehrer hat er als Schriftsteller und als Herausgeber der wichtigsten physikalischen Zeitschrift geleistet.

Durch sein ganzes Leben hat ihn eine Arbeit begleitet, zu der er die Grundlagen bereits in Berlin gelegt hatte, und die zuerst im Jahre 1861 von Basel aus veröffentlicht wurde. Es ist seine Lehre vom Galvanismus, in der er alles zusammentrug und systematisch ordnete, was um jene Zeit in diesem

weitschichtigen Gebiete geleistet worden war. In unseren Tagen, wo der wissenschaftliche Nachrichtendienst in den Beiblättern, Jahresberichten und einer Anzahl anderer Veröffentlichungen so vollständig geordnet ist, kann man sich kaum eine Vorstellung davon machen, welche Hilfe und Förderung für alle beteiligten Fachgenossen jenes Werk gewesen ist. Hört man aber die Stimmen aus jener Zeit darüber, so kann es nicht zweifelhaft sein, daß Wiedemann mit seinem Buche durch die Belebung und Systematisierung der Forschung der Wissenschaft mindestens ebenso wichtige Dienste geleistet hat, wie durch seine Experimentalforschungen.

In vier Auflagen, von denen jede an Umfang die vorige fast um das Doppelte übertraf, hat er sein Werk bis an das Ende seines Lebens durchgeführt. Die beiden letzten Auflagen waren zu einer Lehre von der Elektrizität erweitert, und die letzte umfaßt vier starke Bände, insgesamt 4525 Druckseiten. Den Tausenden von Physikern und Technikern, die inzwischen an der wissenschaftlichen und praktischen Entwicklung der Elektrik tätig waren und sind, ist dies an Vollständigkeit und Genauigkeit der Berichterstattung unerreichte Werk eine unschätzbare Hilfe gewesen, und die Möglichkeit, den derzeitigen Stand des Wissens an jeder Stelle dieses weiten Gebietes überschauen zu können, war ein wichtiges Mittel für die schnelle Entwicklung der Elektrik, die wir heute bewundern.

Die Vollendung des vierten Bandes seines Lebenswerkes ist die Arbeit gewesen, zu welcher der unermüdliche Gelehrte seine letzten Kräfte zusammengerafft hatte. Der Tod hat ihm die Feder fast aus der Hand genommen: vom März 1898 ist die Vorrede des letzten Bandes datiert und vor Ablauf eines Jahres schloß Wiedemann seine Augen für immer.

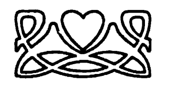
Außer dieser Tätigkeit übte Wiedemann seit 1877, dem Todesjahre Poggendorffs, noch eine andere aus, zu welcher ihn die Arbeit seines großen Buches als besonders befähigt hatte erscheinen lassen: die Herausgabe der Annalen der Physik.

Im Jahre 1893 hat bei Gelegenheit der Veröffentlichung des fünfzigsten Bandes, der unter Wiedemanns Leitung erschienen war, kein geringerer als Helmholtz ihm das Zeugnis ausgestellt, daß er das wichtige und verantwortungsreiche Amt in ausgezeichneter Weise und zur Zufriedenheit aller Beteiligten durchgeführt hatte. Was die deutsche Physik in dieser Beziehung an ihm verloren hat, wird vielleicht erst nach einiger Zeit sichtbar werden.

Angesichts dieser ungeheuren Tätigkeit als Forscher, Lehrer und Schriftsteller, an die sich noch manche zeitraubende Arbeit in wissenschaftlichen Kommissionen schloß — ich erinnere an Wiedemanns Tätigkeit auf den internationalen Elektrikerversammlungen und im Kuratorium der physikalisch-technischen Reichsanstalt — könnte man sich unseren Gelehrten als einen stets gehetzten Mann vorstellen, der zu nichts anderem Zeit und für nichts anderes Sinn gehabt hat, als für diese Arbeiten. Wir alle, denen das Bild unseres verewigten Freundes lebendig ist, wissen, daß das Gegenteil der Fall war. Wenn wir ihn in seinem Sprechzimmer im Institut besuchten, fanden wir ihn zwar immer am Schreibtisch, aber nachdem unser Anliegen mit liebenswürdiger Herzlichkeit erledigt war, hielt er uns fest, und in lebhafter Unterhaltung über Persönliches, Wissenschaft, Kunst, Politik zeigte Wiedemann überall ein ebenso umfassendes Wissen und lebhaftes Interesse, wie in seinem besonderen Wissensgebiete. Mit fast allen Fachgenossen persönlich bekannt, mit den meisten befreundet, verfügte er über einen Schatz von Anschauungen und Erfahrungen, aus dem er seinen Freunden unermüdlich spendete und der ihn zu einer lebenden Geschichte der Physik des letzten halben Jahrhunderts machte. Es ist ein großer Verlust, daß es ihm nicht vergönnt gewesen ist, wie er wollte, die wichtigsten Erinnerungen aus seinem Leben aufzuzeichnen und so die Geschichte der Wissenschaft mit einem Schatz unmittelbarer Anschauungen und Erlebnisse zu bereichern, durch den die Entwicklung vieler Gebiete erst anschaulich würde.

In unserer, der Wissenschaft gewidmeten Versammlung darf das Persönliche nur soweit zur Geltung kommen, als es zur Kennzeichnung der Arbeit erforderlich ist. Ich muß mir deshalb versagen, dies Bild weiter auszuführen. Nur das gehört zu der Gesetzmäßigkeit, welcher fast alle Diener dieser strengen Göttin unterworfen sind, daß ihr Leben in Trauer ausgeht, und dies um so mehr, je vollständiger sie sich ihrem Dienste geweiht hatten.

Auch unser Freund hat diesen Kampf durchleben müssen, wo mit der schwindenden Kraft zur Arbeit der ganze Inhalt zu schwinden droht, der das Leben des Forschers so reich und schön gemacht hatte. Wer möchte es ihm verdenken, daß er diesen Inhalt so lange festzuhalten suchte, als er vermochte, und daß er sich seine Existenz ohne die gewohnte Arbeit überhaupt nicht vorstellen konnte? So ist ihm keine von den Bitterkeiten erspart geblieben, welche die strenge Zeit, „Deine Herrin und meine", für jeden von uns verborgen hält. Wollen wir es uns zum Trost gereichen lassen, daß er gekämpft hat bis zum letzten Atemzuge, und daß er gefallen ist wie ein Krieger auf einem verlassenen Posten?



5

JACOBUS HENRICUS VAN'T HOFF

(Einleitung zu dem van't Hoff gewidmeten Jubelbande der Zeitschrift für physikalische Chemie, Bd. 31, 1899.)



enn man auf einem schwierigen und langen Wege ein erhebliches Stück zurückgelegt hat so, bleibt man gern auf kurze Zeit stehen, um einen Rückblick auf das Überwundene zu werfen und zu neuem Steigen die Kräfte zu sammeln.

Als ein solcher Augenblick der Sammlung und Ruhe soll der Tag betrachtet werden, an welchem ein Vierteljahrhundert vergangen ist, seitdem J. H. van't Hoff sich das äußere Zeichen des selbständigen Forschers, den Doktorgrad, erworben hat. Nicht als der Abschluß der unvergleichlich glänzenden und erfolgreichen Laufbahn, die er zurückgelegt hat, sondern als ein gern ergriffener Anlaß, einen prüfenden Blick über das Erreichte zu werfen, soll uns dieser Tag gelten. Wer möchte zu sagen versuchen, wohin unser Jubilar uns noch voranschreiten wird, welche Dunkelheiten er erhellen und welche Hilfsmittel der Forschung er uns an die Hand geben wird, da er in rüstigster Manneskraft vor uns steht und von der dauernden Lust am Schaffen, die ihn beseelt, uns immer neue Zeugnisse gibt?

Jacobus Henricus van't Hoff ist am 30. August 1852 in Rotterdam als Sohn eines praktischen Arztes geboren und hat in dieser Stadt die „Hoogere Burgerschool", eine lateinlose

Anstalt, die etwa der deutschen Realschule entspricht, besucht und durchgemacht. Für die landläufige Behauptung, daß die Schüler solcher Anstalten denen der klassischen Gymnasien zwar anfänglich an Kenntnissen in den Naturwissenschaften überlegen seien, daß aber der Unterschied sich sehr bald zu gunsten der letzteren verschiebe, bietet dieser Fall keinen Beleg.

Im Jahre 1869 bezog van't Hoff das Polytechnikum zu Delft, dessen dreijährigen Kursus als „Technoloog“ er in zwei Jahren erledigte. An der Universität Leiden wurde er dann zufolge ministerieller Entscheidung ohne die übliche Zulassungsprüfung aufgenommen, womit die letzte Gelegenheit für ihn verschwand, den „Segen der klassischen Bildung“ an sich zu erfahren.

In Leiden bestand er 1872 das Kandidatenexamen. Er setzte seine Studien in Bonn unter Kekulé und in Paris unter Würtz fort. Mit einer Dissertation „Bijdrage tot de kennis van Cyaanazijnzuur en Malonzuur“ erwarb er sich als Schüler Mulders am 22. Dezember 1874 den Grad eines Doktors der Wis- en Natuurkunde an der Universität Utrecht.

Seine Lehrtätigkeit begann van't Hoff im Jahre 1876 als Dozent der Physik an der Tierarzneischule zu Utrecht. 1877 ging er als Lektor der Chemie nach Amsterdam; im folgenden Jahre wurde er daselbst zum Professor ernannt. Nachdem 1887 eine Berufung nach Leipzig sich zerschlagen hatte, wurde er 1894 als Professor und Akademiker nach Berlin berufen. In dieser Stellung befindet er sich noch heute.

Dies ist in kurzen Zügen das äußere Bild des wissenschaftlichen Lebens van't Hoffs.

Die innere Entwicklung läßt sich an den Schriften verfolgen, die er seit seiner Doktordissertation veröffentlicht hat. Man sieht deutlich, wie er seine ersten Anregungen von den Männern empfängt, deren Einfluß er sich anvertraut hat, und wie dann mehr und mehr die Eigentümlichkeiten seines wissenschaftlichen Charakters in den Vordergrund treten. Nicht im

Widerspruch mit jenen Jugendarbeiten, sondern in ununterbrochener Stetigkeit entwickelt sich vor uns der glänzende Geist, unter dessen Führung große neue Gebiete der Wissenschaft entstanden sind.

Die ersten Arbeiten sind, wie es bei einem Schüler von Kekulé und Würtz nicht anders sein konnte, organischer Natur und unterscheiden sich nicht wesentlich von vielen ähnlichen. Sehr frühzeitig aber sehen wir ihn die gebräuchlichen Grenzen des Gebietes überschreiten und neue, weitreichende Schritte wagen. Als eine unmittelbare Fortbildung Kekuléscher Anregungen darf man seine Ausdehnung der Strukturformeln auf den dreidimensionalen Raum ansehen. Noch während er bei Mulder in Utrecht organisch-synthetischen Arbeiten oblag, veröffentlichte er im Jahre 1874 in holländischer Sprache eine erste, nur 11 Seiten lange Mitteilung über Strukturformeln im Raume, die im folgenden Jahre unter dem Titel „La chimie dans l'espace" in der Stärke von 44 Seiten erschien und zwei Jahre später, begleitet von einer Vorrede von J. Wislicenus, ins Deutsche übersetzt wurde.

Die Aufnahme dieser Arbeit war eine sehr verschiedene. Während Wislicenus die Betrachtungen mit großer Wärme als einen wichtigen Fortschritt begrüßte, zog auf der anderen Seite Kolbe, welcher schon in der Strukturchemie eine schwere Verirrung sah, die gröbsten Register seiner Polemik und verschmähte nicht, van't Hoffs Stellung an der Tierarzneischule zu ungehobelten Witzen über die Berechtigung seiner Mitarbeit an der Chemie zu verwerten.

Auch auf die unbefangeneren Chemiker war die Wirkung jener Gedanken zunächst nur eine sehr geringe. van't Hoff hatte bekanntlich sich die Frage gestellt, ob die übliche Darstellung der chemischen Formeln in der Ebene des Papieres genügend sein könne, und auf Grund der damals von niemand bezweifelten Annahme von der Realität der Atome mit Nein beantwortet. Die weitere Frage nach der Form, in welcher sich

die räumlichen Beziehungen der Atome darstellen ließen, wurde für den Kohlenstoff durch das bekannte Tetraederschema beantwortet, welches seitdem einen so großen Einfluß auf die Entwicklung der Wissenschaft ausgeübt hat.

Durch dieses Schema wurden namentlich zwei Zusammenhänge klargelegt; einerseits die Beziehung zwischen dem Vorhandensein eines „asymmetrischen" Kohlenstoffatoms und der optischen Drehung, andererseits das Auftreten von Isomeren gleicher Struktur in dem Falle der Bindungen zwischen zwei Kohlenstoffatomen, die mit lauter verschiedenen Radikalen verbunden sind. Der typische Fall dieser Isomerie ist der der Fumar- und Maleinsäure.

In der Aufdeckung dieser Zusammenhänge lag denn auch die Bedeutung des neuen Gedankens. Die Atomhypothese hat in ihrer Anwendung auf die spezielleren Eigentümlichkeiten der chemischen Verhältnisse eine Unzahl von Sonderhypothesen entstehen lassen, deren Dauer meist nicht sehr groß war, wenn sie auch sich zunächst den Bedürfnissen der Wissenschaft gut angepaßt hatten. Dieses Schicksal der Vergänglichkeit hat ebensogut die Annahme elektrischer Ladungen verschiedenen Zeichens und Betrages erfahren, welche die Grundlage des elektrochemischen Dualismus von Berzelius gebildet hatte, wie die Kolbesche Annahme vom regierenden Kohlenstoffatom, dem die übrigen vorhandenen Atome untertan waren, wenn auch beide Forscher durch ihre Hypothesen zu wichtigen Förderungen der Wissenschaft angeregt worden sind. Die Ursache dieses Schicksals liegt immer darin, daß die Analogien, welche durch eine derartige Hypothese dargestellt werden, nach einer gewissen Zeit erschöpft sind. Es treten dann neue Tatsachen ans Licht, wie die Verhältnisse der organischen Verbindungen im Falle der elektrochemischen Hypothese, welche die Analogie vermissen lassen, und dann entsteht gewöhnlich ein lebhafter Kampf zwischen den Anhängern der Hypothese, welche die Analogie künstlich aufrecht zu erhalten suchen, und den

Gegnern, welche durch Beibringung widersprechender Fälle die Unzulänglichkeit der Hypothese weiter zu belegen sich bemühen.

Beide Phasen dieser immer wiederkehrenden Entwicklung sind der Wissenschaft nützlich. Die erste, indem durch Ausarbeitung der Analogie große, meist vernachlässigt gewesene Gebiete der Wissenschaft neu erschlossen werden. Die Einseitigkeit, welche durch die Arbeit im Sinne der Hypothese entsteht, wird dann in der zweiten Phase durch die Gegner verbessert, indem diese durch Hervorhebung der widersprechenden Fälle das Gleichgewicht in der Entwicklung wieder herstellen. In solchem Sinne sind derartige Hypothesen sowohl im Leben wie im Sterben nützlich.

Van'tHoffs Hypothese vom tetraedrischen Kohlenstoffatom befindet sich durchaus noch in dem ersten Teile ihres Lebens. Sie hat durch die Anregung der Forschung in bestimmtem Sinne der Wissenschaft bereits sehr bedeutende Dienste geleistet und leistet sie noch täglich. Doch dienen vielleicht diese Betrachtungen dazu, die Stellungnahme der Fachgenossen zu erleichtern, wenn die Zeichen der zweiten Periode herannahen, von denen allerdings jetzt noch nichts zu bemerken ist.

Diesen großen Erfolg der nunmehr fast ein Vierteljahrhundert alten Hypothese hat man vor allen Dingen darin zu suchen, daß zwei verschiedene tatsächliche Beziehungen durch sie dargestellt werden, der Zusammenkang zwischen Konstitution und Drehung und die Isomerieverhältnisse. Die Möglichkeit, beide Erscheinungen durch dasselbe Bild darzustellen, beweist, daß die dem letzteren zukommenden Mannigfaltigkeitsverhältnisse ungewöhnlich viel Übereinstimmendes mit den wirklichen, rein chemischen Mannigfaltigkeitsverhältnissen der betrachteten Stoffe haben. Daher ist zu erwarten, daß die Erschöpfung der Analogien in diesem Falle viel später eintreten wird, als in anderen, ähnlichen Fällen, und daß die Theorie vom tetraedrischen Kohlenstoffatom noch lange als ausgezeichneter und sicherer Führer der Forschung dienen wird.

Von den beiden Beziehungen wurde zunächst die eine, die sich auf die Drehung der Polarisationsebene bezieht, eingehender verfolgt. Van't Hoff zeigte, daß die Tatsachen sich seiner Theorie insofern ausgezeichnet anschlossen, als bei den aktiven Stoffen stets ein asymmetrisches Kohlenstoffatom annehmbar war. Umgekehrt gab es allerdings sehr zahlreiche Stoffe, an denen trotz des asymmetrischen Kohlenstoffatoms keine Drehung nachweisbar war. Doch war auch hierfür eine vollkommen sachgemäße Erklärung vorhanden: von jeder aktiven Form mußte es gemäß den Symmetrieverhältnissen die entgegengesetzte geben, und beide mußten bei gewöhnlichen chemischen Reaktionen gleichzeitig und in gleicher Menge gebildet werden, so daß das entstehende Gemisch der beiden aktiven Stoffe seinerseits inaktiv erscheinen mußte.

Es ist bekannt, in welchem riesigen Umfange die spätere Forschung diese Anschauungen bestätigt hat. Auch waren es zunächst die Anwendungen der Theorie van't Hoffs auf diesem Gebiete, welche ihr langsam Bahn brachen und Anerkennung verschafften. Von größter Wichtigkeit war hierbei, daß der tiefste Kenner der Verhältnisse optisch aktiver Stoffe, H. Landolt, sich schon frühzeitig zu gunsten der Theorie van't Hoffs aussprach und auf ihre merkwürdige Übereinstimmung mit den Tatsachen hinwies.

Die zweite Folgerung aus der Theorie van't Hoffs hat sich erst viel später entwickelt. Die wesentlichste Unterstützung hat dieser Gedanke seit 1887 durch J. Wislicenus gefunden, der nicht nur in einer Reihe glänzender eigener Arbeiten ihn weiter entwickelt und seine Fruchtbarkeit gezeigt hat, sondern auch zahlreiche Schüler zu Untersuchungen in gleicher Richtung angeregt und dadurch ein ungemein ausgedehntes Material zu gunsten der Theorie beschafft hat. Während Wislicenus vorwiegend in dem Gebiete der „Stereoisomerie“ ungesättigter Verbindungen gearbeitet hat, ist durch Emil Fischers ausgezeichnete Studien in der Zuckergruppe der Nachweis erbracht

worden, daß auch die dort auftretenden sehr verwickelten Isomerieverhältnisse sich ohne Rest durch die gleiche Theorie darstellen lassen.

Ein derartiger Erfolg, vergleichbar dem, welchen van't Hoffs Lehrer Kekulé durch sein Benzolschema errungen hatte, wäre an sich schon eine ausreichende Grundlage für dauernden Ruhm gewesen. Aber noch wichtigeres war ihm auf einem anderen Gebiete zu leisten vorbehalten.

Schon im Jahre 1878, kurze Zeit nach der Veröffentlichung seiner „chimie dans l'espace" ließ van't Hoff ein merkwürdiges, wenig gekanntes Werk in zwei Bänden erscheinen, dem er den Titel „Ansichten über die organische Chemie" gab, und das einen doppelten Zweck verfolgt.

Einerseits sollte es durch die strenge Durchführung der chemischen Systematik für die Darstellung der gesamten organischen Chemie einen unzweideutigen Kanon schaffen, in welchen sich die vorhandenen und die zu erwartenden Kenntnisse, jede an ihren bestimmten Ort, einordnen ließen. Diesem systematischen Gedanken brachte van't Hoff ein so weitgehendes Vertrauen entgegen, daß er die beschriebenen Verbindungen häufig mit der Formel allein bezeichnet und ihren Namen anzugeben unterläßt, denn „was Nomenklatur genannt wird, und für deren systematische Begründung mehrere Versuche angestellt wurden, ist eine überflüssige Sache geworden, sobald die Konstitution bekannt ist; dann ist die Formel der beste Name, eben deshalb werden derartige Versuche immer fehlschlagen." Die Schicksale der inzwischen von neuem angestellten Versuche der Nomenklatur scheinen dies Urteil zu bestätigen, wenn auch vielleicht nicht seine Begründung.

Andererseits strebte van't Hoff gleichzeitig den Boden für eine bisher kaum beachtete Seite der organischen Chemie zu bereiten. Er stellte das chemische Problem in allgemeinster Gestalt in der Frage auf: Was wird unter bestimmten Umständen nach bestimmter Zeit die Folge des Zu-

sammenbringens einer Verbindung mit bestimmten Mengen anderer, ebenfalls der chemischen Natur nach bekannten Verbindungen sein? und betont, daß die Antwort eine qualitative, die Bestimmung der entstehenden Verbindungen ihrer Natur nach, und eine quantitative, die Bestimmung der von jeder in einer gewissen Zeit sich bildenden Menge sein muß. Die organische Chemie hatte sich so gut wie ausschließlich mit der qualitativen Seite des Problems beschäftigt und die quantitative nur in roher Weise in Gestalt der Arbeitsbedingungen und der Ausbeuterangaben berücksichtigt. Diesem Mangel abzuhelfen, sieht nun van't Hoff als seine nächste und wichtigste Aufgabe an.

Schon in den „Ansichten" entwickelt er die Grundgleichungen der chemischen Kinetik und der Gleichgewichtslehre unter Anwendung des Gesetzes von der Massenwirkung. Es ist allerdings nicht der erste hier, denn Harcourt und Esson, sowie Guldberg und Waage waren ihm in beiden Punkten vorausgegangen. Doch scheint er ganz selbständig auf seine Ansätze gekommen zu sein, und in seinen Händen entwickelten sie sich zu einer ungeahnten Fruchtbarkeit.

Denn van't Hoff stellte sich nur die Forderung auf, daß die Dynamik der chemischen Vorgänge untersucht werden müsse, er war selbst einer der ersten, welcher die Ausfüllung der vorhandenen großen Lücke unternahm. In unausgesetzter Arbeit hat er selbst daran sich betätigt; auch gestatteten ihm inzwischen seine äußeren Tätigkeitsverhältnisse, Schüler heranzuziehen und so den Bau schneller zu fördern, als er es mit den eigenen Händen allein hätte tun können.

Die Frucht dieser Arbeiten sind seine 1884 in französischer Sprache erschienenen Études de Dynamique chimique. In der Einleitung zu diesem Werke, das abweichend von den „Ansichten" eine weite Verbreitung und einen sehr großen Einfluß gewonnen hat, werden die Gesichtspunkte des älteren Buches wieder aufgenommen und die beiden Aufgaben der

wissenschaftlichen Chemie zwei verschiedenen Phasen der Entwicklung zugeteilt. Nachdem der beschreibende oder systematische Teil im wesentlichen bearbeitet ist, tritt der rationelle oder kausale Teil in den Vordergrund. Die Fortschritte der Chemie in diesem Gebiete werden unterschieden in die, welche sich auf die physikalischen Eigenschaften (z. B. Lichtbrechung) und die chemischen (z. B. Esterbildungsgeschwindigkeit) beziehen; während für die Beziehungen zwischen Zusammensetzung, Konstitution und physikalischen Eigenschaften exakte und der Rechnung zugängliche Ausdrücke gefunden worden sind, lassen die chemischen Forschungen solche Zurückführungen der rohen Versuchsergebnisse auf rationelle Ausdrücke noch vermissen. Hier ist es, wo die Bemühungen unseres Forschers einsetzen, und es ist nichts weniger, als das ganze Gebiet der chemischen Dynamik, die Lehre von der Geschwindigkeit wie die vom chemischen Gleichgewicht, deren systematischen Aufbau er unternimmt.

Es kann hier nicht ausführlich entwickelt werden, in welchem Maße ihm dies gelungen ist; machen wir doch noch täglich von den Gedanken und Methoden Gebrauch, die in seinem Werke niedergelegt sind. Aber die wesentlichsten Züge des vorhandenen Fortschrittes müssen doch bezeichnet werden.

Der Ansatz der Grundgleichungen für die Kinetik und das Gleichgewicht erfolgt wesentlich auf dem Boden der Molekularhypothese, und es werden die mono-, di- und trimolekularen Reaktionen unterschieden. Dies geschieht im Gegensatz zu den älteren Formulierungen von Guldberg und Waage, bei denen bloß die wirksamen Mengen in Reaktionsäquivalenten in Rechnung gezogen worden waren. Die Entwicklung der Wissenschaft hat unserem Forscher hierin wesentlich Recht gegeben, und die von van't Hoff selbst nach dem Vorgange Horstmanns durchgeführte Anwendung der Energetik auf dieses Problem hat der ursprünglichen auf der Molekularhypothese beruhenden Begründung die zur Zeit sicherste Stütze gewährt.

Neben einer großen Zahl von experimentellen Untersuchungen über die verschiedensten Probleme der chemischen Dynamik bringt das Buch theoretische Entwicklungen von größter Bedeutung und Fruchtbarkeit. Diese zeigen den Forscher von einer neuen Seite, die seitdem immer bedeutungsvoller in den Vordergrund tritt: als einen selbständigen Förderer der von allen Hypothesen unabhängigen Anwendung der Energetik oder Thermodynamik auf chemische Probleme. Wiewohl er angesichts der großen und glänzenden Erfolge, die ihm die Anwendung der Atomhypothese durch seine kühne Erweiterung ihres Anschauungskreises gebracht hatte, sich immer wieder mit Vorliebe dieses für ihn so ergiebigen Hilfsmittels bedient, weiß er den wesentlich heuristischen Charakter desselben sehr wohl von den viel größere Sicherheit bietenden Methoden der Thermodynamik zu unterscheiden. Die Ergebnisse, welche seine anschauende Phantasie im Lande der Molekeln gewann, hat er seitdem immer der Prüfung durch die Formeln der Energielehre unterzogen, und seine eigenen Entdeckungen sollten ihm bald ein Beispiel liefern, wie wichtig dies Verfahren im Verhältnis zum anderen werden kann und muß.

In der Anwendung der Thermodynamik auf die chemischen Probleme bewährt er alsbald die Meisterhand. Als Zeichen für die Weite seines Blickes und seine Fähigkeit, das wesentliche in der Fülle der Erscheinungen zu sehen, sollen nur die Formulierung der Beziehung zwischen chemischem Gleichgewicht und elektromotorischer Kraft, sowie sein berühmtes Prinzip des beweglichen Gleichgewichtes genannt werden, welches die Beziehung zwischen der Änderung der Bedingungen eines Gebildes und der Beschaffenheit der Vorgänge ausspricht, die durch diese Änderungen im Gebilde hervorgerufen werden.

Die Wirkung des Buches war eine ähnliche, wie die seiner stereochemischen Ansichten: sie erfolgte nicht schnell, war aber um so tiefgreifender. Immer wieder wird die Forschung auch noch heute auf die Gedanken zurückgelenkt, die sich dort ent-

wickelt finden, und der Umfang des Einflusses, den es auf die Zeit- und Arbeitsgenossen geübt hat, läßt sich auch nicht annähernd abschätzen.

Haben wir bisher zwei deutlich verschiedene Perioden in van't Hoffs wissenschaftlichen Forschungen erkennen können, die stereochemische und die chemisch-dynamische, so ist kurze Zeit später das Auftreten eines dritten großen Abschnittes in seinen wissenschaftlichen Leistungen zu erkennen. Dieser ist durch die Entwicklung des Begriffes des osmotischen Druckes und die Aufstellung der Lösungsgesetze, die mit den Gasgesetzen die gleiche Gestalt haben, gegeben. Die ersten Mitteilungen hierüber finden sich in einer der schwedischen Akademie vorgelegten und 1885 in ihren Denkschriften abgedruckten Abhandlung. Bekannter ist die 1887 im ersten Bande der Zeitschrift für physikalische Chemie gegebene Darstellung der gleichen Ideen.

Wieder ausgehend von molekularen Vorstellungen (deren Durchführung indessen in der Folge große Schwierigkeiten machte) über die Beschaffenheit gelöster Stoffe und geleitet von seiner außerordentlichen Fähigkeit, in der einzelnen Erscheinung das Allgemeine und Wesentliche zu sehen, entwickt van't Hoff aus den Beobachtungen von Traube und Pfeffer über die osmotischen Erscheinungen an Niederschlagsmembranen eine Theorie, die auf den Fortschritt der Chemie einen größeren Einfluß geübt hat, als irgend eine seiner anderen Entdeckungen. Jene Beobachtungen waren außerhalb der engsten Fachkreise kaum bekannt, und die populäre Geschichtsauffassung wird gern in der Erzählung von dem zufälligen Gespräch der beiden Amsterdamer Kollegen van't Hoff und de Vries auf einem Spaziergange über die botanischen Erscheinungen des Zellturgors die Grundlegung der Theorie vom osmotischen Druck erkennen. Es wird nicht in Abrede gestellt werden können, daß solche Umstände auf den Zeitpunkt, zu welchem ein wissenschaftlicher Gedanke reif wird, einen Einfluß ausüben mögen. Weiter aber

geht der Einfluß schwerlich, denn die Wissenschaft besitzt in viel zu hohem Grade ihr eigenes Leben und ihre eigenen, unwiderstehlichen Entwicklungsgesetze, als daß ihr Gang durch solche Zufälligkeiten bestimmt werden könnte. Sind doch dieselben Tatsachen ihrer Zeit durch ihren Entdecker Pfeffer keinem anderen als Clausius vorgelegt worden, der von allen Physikern jener Zeit vielleicht am ehesten in der Lage war, ihre allgemeine Bedeutung zu würdigen. Damals war der Keim auf unfruchtbaren Boden gefallen; kann man es denn für möglich halten, daß ein so wohl bereiteter Nährboden, wie der unseres Forschers, bei freiem Zutritt alles vorhandenen Wissens hätte keimfrei bleiben sollen?

Um die Bedeutung zu würdigen, welche die Lösungsgesetze für die Entwicklung der allgemeinen Chemie gehabt haben, genügt es nicht, darauf hinzuweisen, daß alle die Gesetze, die bisher für Gase bekannt waren, nunmehr auf gelöste Stoffe ausgedehnt werden konnten. Das ist unzweifelhaft richtig, aber es erschöpft keineswegs die Mannigfaltigkeit der Erscheinungen, die unter das neue Gesetz fallen. Das Gebiet der Lösungen ist so unvergleichlich viel größer und vielseitiger, als das der Gase, daß auch die Belehrung, die wir aus dem Lösungsgesetze gewonnen haben, in demselben Maße reicher und mannigfaltiger ist. Muß doch besonders betont werden, daß es bei Gasen nichts der elektrolytischen Dissoziation ähnliches gibt, deren Gesetze auch auf dem Grundgesetz van't Hoffs beruhen, sowie daß die chemischen Gleichgewichte viel leichter und verschiedenartiger sich bei Lösungen einstellen und beobachten lassen, als dies jemals bei Gasen möglich sein wird.

Um die Bedeutung der Lösungsgesetze klar zu machen, müßte man fast die ganze chemische Dynamik in Betracht ziehen. Elektrochemie, Physiologie, Photochemie, alle diese und zahlreiche andere Gebiete sind erst durch sie der eingehenden wissenschaftlichen Behandlung zugänglich geworden.

Obwohl die glänzende Bestätigung der Ideen van't Hoffs,

die sich in der Entwicklung seiner Lehre vom tetraedrischen Kohlenstoffatom gezeigt hatte, das wissenschaftliche Publikum darüber hätte belehren können, daß schon aus Gründen der Analogie den neuen Gedanken eine gute Zukunft prophezeit werden konnte, so wirkten sie doch zunächst namentlich in Verbindung mit der gleichzeitig durch Arrhenius entwickelten Lehre von der elektrolytischen Dissoziation fast ebenso abschreckend auf die meisten Fachgenossen, wie seinerzeit das tetraedrische Kohlenstoffatom auf Kolbe und seine Schule gewirkt hatte. Widerspruch wurde an allen Seiten laut, und van't Hoff hatte seine Gedanken gegen sehr namhafte Gegner zu verteidigen. Glücklicherweise hatten sich die Umstände aber doch so weit geändert, daß es nicht mehr von wenigen unbefangeneren Forschern abhing, ob und in welchem Umfange von dem Fortschritt Notiz genommen wurde. Jene Erfolge hatten unserem Forscher bereits eine gesicherte Stellung unter den originalsten und erfolgreichsten Förderern der organischen Chemie verschafft, so daß über ihn nicht wohl mehr einfach zur Tagesordnung übergegangen werden konnte. Dann aber wurde unter seiner tätigen Mitwirkung um jene Zeit die Zeitschrift für physikalische Chemie gegründet, die sich außer der allgemeinen Aufgabe der Förderung dieses Wissenszweiges die Vertretung der neuen Gedanken zur besonderen Aufgabe gemacht hatte. Hier wurden jene Kämpfe durchgefochten, hier wurden aber insbesondere die überreichen Früchte gesammelt und der wissenschaftlichen Welt zum Gebrauche dargeboten, welche auf dem von van't Hoff eroberten Boden alsbald in reichster Fülle geerntet wurden. Und wo könnte heute der Rückblick auf van't Hoffs beispiellos erfolgreiche Arbeit besser gefeiert werden, als in diesem Heim der physikalischen Chemie, der Zeitschrift, die von ihrem ersten Bande ab sich mit seinem Namen hat schmücken dürfen!

Das letzte Dezennium der Forschertätigkeit van't Hoffs ist mit der Entwicklung und Pflege der unübersehbaren Gebiete

ausgefüllt gewesen, die er der Forschung erschlossen hatte. In mehrfachen Neuauflagen seiner grundlegenden Werke, sowie in anderen, die sich aus seiner Lehrtätigkeit an der Berliner Universität ergaben, hat er uns immer neue Gedankenschätze geschenkt. Er hat uns an umfassend angelegten und geduldig durchgeführten Experimentaluntersuchungen gezeigt, daß er die Kraft des weitreichenden Gedankens, die wir an ihm bewundern, immer wieder an dem täglichen Umgange mit der unerschöpflichen Mannigfaltigkeit der Erscheinungen belebt, ungleich vielen anderen großen Förderern der Theorie, denen diese persönliche Liebe zur unmittelbaren Wirklichkeit abgeht, und die darin die Grenzen ihrer Leistungen finden. In dieser Seite seines Wesens erkennen wir den wirklichen Chemiker, der er trotz aller Abstraktion immer geblieben ist. Dieser Seite seines Wesens verdankt er und verdanken wir, daß die Entwicklung seiner Gedanken sich so verhältnismäßig schnell vollzogen hat, und daß die zu bestehenden Kämpfe zwar heftig genug waren, aber doch schneller zum Abschluß gebracht werden konnten, als es vielen anderen großen Männern beschieden war. In dieser Seite seines Wesens finden wir endlich auch die Gewißheit, daß der heutige Tag nur eine Station, einen gelegentlichen Halt auf einer Entdeckungsreise bedeutet, deren letzte Ziele keiner von uns zu ahnen vermag. Nach wieder 25 Jahren wird an gleicher Stelle der Geschichtsschreiber der allgemeinen Chemie überreichen Stoff zu einem neuen Bericht haben.



6

ROBERT BUNSEN

(Gedenkrede, gehalten auf der VIII. Hauptversammlung der Deutschen Elektrochemischen Gesellschaft zu Freiburg i. B. am 18. April 1901.)



wanzig Monate sind vergangen, seit der Telegraph die Nachricht vom Tode Robert Bunsens bis in die fernsten Ecken der zivilisierten Welt sendete, und schon lange haben sich über die Erschütterungswoge, welche dies Ereignis verursacht hatte, wieder die kleinen Wellen der täglichen Vorgänge gebreitet. Auch hat unser verehrter Herr Vorsitzender bereits auf der vorigen Hauptversammlung in markigen Worten den Verlust gekennzeichnet, den die Deutsche Elektrochemische Gesellschaft erlitten hat. So könnte es fast scheinen, als sei es nicht mehr an der Zeit, darauf zurückzukommen, daß auch vor diesem reichen und mächtigen Leben die unerbittliche Zeit nicht Halt gemacht hat, und daß wir auch dieser Riesenenergie gegenüber die allgemeine Tatsache der Vernutzung aller Energie trauernd bestätigen mußten.

Aber wir empfinden unsere Trauer tiefer und darum andauernder, weil wir ihm besonders zu danken haben. Der Boden der wissenschaftlichen Elektrochemie, auf dem wir wurzeln, und die Luft der freien und kühnen Forschung, die uns erhält — wir verdanken sie zu einem großen Teile seiner bahnbrechenden Tätigkeit. Und noch persönlicher sind wir ihm zu

Dank verpflichtet. Als vor sieben Jahren die Deutsche Elektrochemische Gesellschaft durch eine kleine Gruppe von Männern gegründet wurde, die sich gleichzählig aus Vertretern der Wissenschaft und der Praxis zusammensetzten, da mußten wir uns sagen, daß unsere nächste Aufgabe, die Gewinnung möglichst zahlreicher Arbeitsgenossen, keine leichte Arbeit mar. Daß wir jetzt eine stattliche Gesellschaft von mehr als 600 Mitgliedern darstellen, verdanken wir nicht zum wenigsten Robert Bunsen. Durch die Freundlichkeit, mit welcher er unsere Bitte gewährte, sich als erstes Ehrenmitglied in unsere Listen eintragen zu lassen, stellte er der jungen, unbekannten Gesellschaft den unabsehbaren Kredit seines wissenschaftlichen Ansehens zur Verfügung, und indem jedes unserer Mitglieder bestrebt war, auf seine Weise dem großen Genossen Ehre zu machen, hat sich der wissenschaftliche, arbeitsfreudige Zug entwickelt, auf den die Deutsche Elektrochemische Gesellschaft stolz sein darf, und der heuer wieder in der überreichlichen Tagesordnung der Vorträge seinen Ausdruck findet.

Diesem Zuge gemäß wollen wir uns heute bei seinem Andenken nicht der Trauer allein hingeben. Dahingegangen ist, was an ihm sterblich war. Heute, wo die Erschütterung über den Verlust nur noch milde nachklingt, tritt aus der Trübung des Schmerzes riesenhaft und glänzend das Unvergängliche hervor, was er geschaffen hat. Das kann uns nicht genommen werden; ja, wir werden gewahr, daß wir uns noch gar nicht vollkommen dessen bewußt geworden sind, was er uns alles geschenkt hat, und daß jede neue Betrachtung seiner Gaben uns Schätze entdecken läßt, die wir bisher übersehen hatten.

Die Gesamtheit dieser Schätze heute vor Ihnen wieder auszubreiten, darf ich nicht unternehmen. Es könnte nur in großen Zügen und ohne Eingehen auf die Einzelheiten geschehen, und dieser Arbeit haben sich Berufenere unterzogen, deren Worte hier nicht wiederholt zu werden brauchen. Auch ist das wissenschaftliche Werk Robert Bunsens eine Natur-

erscheinung von solcher Größe und Mannigfaltigkeit, daß sie zu ihrem Verständnis ein sorgfältiges und tiefgehendes Einzelstudium erfordert, das nur langsam gefördert werden kann. Ich kann nichts tun, als die eine oder andere Seite an diesem herrlichen Phänomen herauszugreifen, deren Verständnis mir zunächst wichtiger erscheint, als andere, und darauf zu vertrauen, daß, wenn auch nicht die Untersuchung selbst, so doch deren Gegenstand mir Ihre freundliche Teilnahme für einige Zeit sichern wird.

Unsere Gesellschaft hat sich die organische Verbindung von reiner und angewandter Wissenschaft und Praxis zum Ziel gesetzt. So will ich versuchen, durch eine möglichst objektive Analyse des vorhandenen Materiales die Mittel und Wege zu entdecken, durch welche Bunsen zu seinen großen Entdeckungen gelangte. Das ist ein wissenschaftliches Problem von höchstem Interesse; denn bei der Analyse so gewaltiger Erscheinungen treten die treibenden Kräfte und maßgebenden Ursachen mit besonderer Schärfe hervor. Daneben besitzt das Problem auch eine nicht geringe praktische Bedeutung. Zwar muß ich mich bescheiden, daß auch nach sorgfältigster Analyse mir hernach die künstliche Synthese eines Bunsen schwerlich gelingen wird. Das mag daher rühren, daß ich ein zu schlechter organischer Synthetiker, oder daß ich nicht genug Analytiker bin; wahrscheinlich ist beides zugleich der Fall. Aber einiges zu finden, was in dieser Richtung liegt, darf ich vielleicht hoffen; ich meine, daß die genaue Kenntnis der Wege, die Bunsen gegangen ist, uns eine Führung gewähren kann für die Wege, auf denen sich der Forscher — und heutzutage müssen wir alle ein Stück von einem Forscher sein, ob wir im Laboratorium einer Schule oder in dem einer Fabrik arbeiten — halten muß, um mit möglichst wenig Irrwegen und Energieverlust zu seinem Ziel zu gelangen.

Ich meine auch nicht, daß die Sache dadurch hoffnungslos ist, daß wir alle keine Bunsens sind, und daß wir uns daher

nicht vermessen dürften, die Wege zu betreten, die ihm zugänglich waren. Daß wir im stande sind, zu verstehen und zu benutzen, was uns unsere großen Männer gelehrt haben, zeigt uns, daß wir auch einen Anteil an ihrem Geiste haben, und daß ihr Unterschied von uns einer des Grades, nicht des Wesens ist. Können wir auch nur kurze Schrittchen auf den Wegen machen, die sie wie im Fluge durchmaßen, so haben wir doch keine andere Wahl, wenn wir hinaufkommen wollen, als in derselben Richtung zu gehen, in der sie sich bewegten. So viel für uns selbst. Und was unsere Jugend, den wissenschaftlichen Nachwuchs betrifft, so möchte ich nur eines sagen: Je mehr wir sie als junge Bunsens behandeln, um so mehr von dieser Sorte werden wir aus ihnen züchten!

Wird daher auch das Ergebnis der beabsichtigten Untersuchung nicht ein sicheres und leichtes Rezept zur Erzielung wissenschaftlicher Glanzleistungen sein, so hoffe ich doch, daß sich dabei manches herausstellen wird, was uns in verwickelten Fällen der Lehre und Forschung als Hilfsmittel dienen kann, um Fragen zu entscheiden, bei denen ein mannigfaltiges Für und Wider uns das Urteil erschwert. Daß solche Fortschritte möglich sind, zeigen uns am deutlichsten die Laboratorien der großen chemischen Fabriken, in denen bestimmte, zu machende Entdeckungen in Auftrag gegeben werden, mit der Sicherheit, daß früher oder später der Auftrag ausgeführt werden wird. Und die eminent praktische Seite einer solchen Untersuchung, wie ich sie eben vorhabe, liegt eben in diesem früher oder später. Die genauere Kenntnis dieser merkwürdigen Reaktionen, aus denen sich die wissenschaftliche Forschung zusammensetzt, wird es uns erlauben, die notwendige Reaktionsdauer durch passende Konzentration der Reagentien und Erhaltung einer angenehmen Temperatur sehr herabzusetzen; und es kann sich leicht herausstellen, daß diese Faktoren wirksamer sind, als die meist als allgemeiner Katalysator verwendete Aussicht auf pekuniären Gewinn.

Solche Betrachtungen haben für uns noch ein weiteres, besonders praktisches Zeitinteresse. Es herrscht darüber nur eine Stimme, daß seit Berzelius im neunzehnten Jahrhundert Bunsen bei weitem der glänzendste und bedeutendste Vertreter der anorganischen Chemie, nicht nur in Deutschland, sondern in der ganzen Welt war. Nun hat sich seit einigen Jahren in Deutschland eine Unruhe darüber geltend gemacht, daß infolge der unverhältnismäßigen Bevorzugung der organischen Chemie die Entwicklung der anorganischen bei uns zu sehr in den Hintergrund getreten ist, und es ist von allen Seiten der Ruf nach intensiverer Pflege dieses Gebietes laut geworden. Die Untersuchung der Wege, auf denen Bunsen seine Entdeckungen machte, wird uns die wertvollsten Fingerzeige dafür geben, welches die Mittel zur Steigerung unserer eigenen Leistungsfähigkeit in der anorganischen Chemie sind. Die eingehende Sorge, welche unsere Gesellschaft dieser Frage bereits hat angedeihen lassen, bietet mir die Gewähr, daß diese Seite unserer Betrachtungen ein besonderes Entgegenkommen finden wird.

Fangen wir unsere Betrachtungen mit Bunsens Jugend an, so müssen wir wohl die häuslichen Einflüsse, welche in diesem Falle sehr günstig waren, übergehen, da ihre willkürliche Regelung nur in geringem Maße in unserer Macht liegt. Es mag daher nur erwähnt werden, daß im Hause seines Vaters, der Bibliothekar und Professor der neueren Sprachen in Göttingen war, ein lebhafter Verkehr herrschte, der den jungen Robert mit vielerlei Leuten in Berührung brachte und entschieden günstig auf die Unabhängigkeit des Geistes gewirkt hat, die später ein so wichtiger Bestandteil seines Wesens geworden ist. Die vierjährige Studienzeit in seiner Vaterstadt wurde ohne bemerkenswertes Ereignis absolviert; sie fand ihren regulären Abschluß durch eine Abhandlung über das Hygrometer, von der gleichfalls nichts besonderes zu sagen ist.

Nun aber begann Bunsen, seine wissenschaftliche Entwicklung in die eigene Hand zu nehmen. Von der hannöverschen

Regierung hatte er ein Stipendium zu seiner weiteren Ausbildung erhalten, das er in sehr merkwürdiger Weise verwendete. Anstatt sich einem bestimmten Lehrer anzuschließen und unter dessen Leitung den Eingang in die Selbständigkeit zu suchen, was heutzutage, wie wohl auch damals, als der sicherste Weg angesehen zu werden pflegt, durchwandert er, großenteils zu Fuß, weite Gebiete von Deutschland, der Schweiz, Frankreich und Österreich, macht überall die Bekanntschaft der Männer, von denen er etwas lernen kann, verweilt aber, mit Ausnahme einiger Monate in Paris, nirgend längere Zeit. Wichtiger noch als die Gelehrten erscheinen ihm die chemischen Betriebe aller Art, in denen er eine Anschauung von dem Verlauf der im großen ausgeführten Reaktionen gewinnen kann; Fabriken, Salinen, Bergwerke werden überall aufgesucht und eingehend studiert. Und das größte aller chemischen Laboratorien, die freie Natur, nimmt auch den größten Teil seiner Aufmerksamkeit in Anspruch; geologische und geognostische Studien werden bei jeder Gelegenheit getrieben. In dieser Reise des Einundzwanzigjährigen können wir das Programm für seine ganze spätere wissenschaftliche Entwicklung erkennen.

Nach seiner Rückkehr habilitierte sich Bunsen in Göttingen für Chemie. Seine Habilitationsschrift bezieht sich auf einige Ferrocyanverbindungen und ragt nicht erheblich über den Rahmen einer relativ „anständigen“ derartigen Schrift hervor. Auch die in die gleiche Zeit fallende, gemeinsam mit Berthold ausgearbeitete Methode, Arsenvergiftungen durch frischgefälltes Ferrihydroxyd unschädlich zu machen, wird man kaum als eine geniale Leistung bezeichnen dürfen. Bunsen verließ Göttingen bald, um als Wöhlers Nachfolger an die Gewerbeschule nach Kassel zu gehen; von dort wurde er nach drei Jahren an die Universität Marburg berufen. Nachdem er 1851 ein Jahr in Breslau gewesen war, ging er 1852 als Gmelins Nachfolger nach Heidelberg, wo er bis zu seinem Tode blieb.

In die Marburger Periode fallen die ersten Arbeiten, die

den Bunsenschen Geist erkennen lassen. Die eine von ihnen hat ihren praktischen Ausgangspunkt in dem Auftrage der hessischen Regierung zur Untersuchung der Vorgänge im Eisenhochofen; die andere ist rein wissenschaftlicher Natur und bezieht sich auf arsenhaltige organische Verbindungen.

In der Hochofenarbeit ist es vor allen Dingen das wissenschaftliche Verfahren genauer Messungen und Mengenbestimmungen, durch welche sie sich weit über die zeitgenössischen Arbeiten erhebt. Um solche Messungen an den gasförmigen Produkten des Ofens durchführen zu können — über die festen gab das Hüttenjournal Auskunft —, bildete Bunsen das Hilfsmittel der Gasanalyse aus, von der bis dahin nur einige wenige Anfänge vorhanden waren. Das Interesse an dem Verhalten der Gase hat Bunsen durch sein ganzes Leben begleitet. Das einzige Buch, welches er geschrieben hat, enthält die Zusammenstellung seiner gasanalytischen Methoden, und die vorletzte Arbeit, welche Bunsen in seinem siebzigsten Jahre ausgeführt hat, behandelt die merkwürdigen Erscheinungen der Aufnahme des Kohlendioxydgases durch blanke Glasflächen.

Es gewährt noch heute dem Leser eine helle Freude, Bunsen bei dieser Jugendarbeit zu folgen. Um zu wissen, was in den verschiedenen Höhen des Ofens vorgeht, muß er Gasproben schöpfen. Der nächstliegende Gedanke, den Ofen seitlich anzubohren, um durch ein eingeführtes Rohr die Proben herauszunehmen, ist ihm viel zu umständlich. Er läßt vielmehr einfach ein unten offenes Rohr mit der Beschickung des Ofens zusammen niedergehen; aus dem oberen Ende desselben treten nacheinander die Gase aus, die dem jeweiligen Orte des unteren Endes entsprechen, und er ist in der Lage, beliebig viele Proben in seine Sammelröhrchen einzuschließen. Aus der gefundenen Zusammensetzung der Gase berechnet er die Ausnutzung des Brennmateriales (in einer Zeit, wo die Thermochemie noch nicht einmal dem Namen nach existierte) und kommt zu dem

praktisch wichtigen Ergebnis, daß die Hälfte des Brennmateriales mit den Gichtgasen verloren geht, an deren Verwertung man damals nicht dachte. Zieht man noch den Wärmeverlust durch die hohe Temperatur dieser Gase in Betracht, so steigert sich der Verlust auf drei Viertel.*

Man muß sich vergegenwärtigen, daß diese Arbeit in den Jahren 1838 und 1839 ausgeführt wurde. Zu einer Zeit, wo das Energiegesetz noch nicht ausgesprochen war und wo hervorragende Forscher die gröbsten Fehler in der Beurteilung der Wärmeverhältnisse machten, handhabt unser Forscher die Berechnung der Wärmebilanz im Ofen mit vollkommener Sicherheit und mit einer Richtigkeit, deren Grenze mit der äußersten Grenze der Kenntnisse jener Zeit zusammenfällt. Daneben beurteilt er mit gleicher Sicherheit die praktische Seite seiner Entdeckungen und entwickelt die Bedingungen, unter denen die Gichtgase für die verschiedenen Zwecke des Betriebes nutzbar gemacht werden können. Er berechnet auf Grundlage seiner Analysen die Verbrennungswärmen und erreichbaren Temperaturen und versäumt auch nicht darzulegen, wie ein Gas, das im kalten Zustande nicht mehr brennbar ist, durch Vermeidung seiner Abkühlung, bezw. durch Anwendung heißer Luft noch nutzbar gemacht werden kann.

Halten wir hier einen Augenblick still und versuchen, uns Bunsens Verfahren bei dieser ersten Meisterarbeit zu vergegenwärtigen, so tritt uns in erster Linie seine freie Herrschaft über die wissenschaftlichen Hilfsmittel seiner Zeit entgegen. Insbesondere erweist er sich mit den in Frage kommenden Gesetzen der Physik so vollkommen vertraut und macht von ihnen so wichtige Anwendungen, daß man wohl begreift, wie er später immer wieder gesagt hat: „Ein Chemiker, der kein

* Eine ähnliche Arbeit, welche er später mit Playfair an einem mit Steinkohle betriebenen englischen Hochofen ausführte, ergab den unmittelbaren Brennmaterialverlusf, den die „praktischen Engländer“ bei ihrer Betriebseinrichtung erfuhren, zu mehr als vier Fünftel!

Physiker ist, ist gar nichts.“ Vor allen Dingen ist es also die Einführung allseitiger Messung und Rechnung in die chemische Untersuchung, die seine Arbeit kennzeichnet. Wo noch keine exakten Methoden vorhanden waren, wie bei der Analyse verwickelterer Gasgemische, erfindet und erprobt er selbst welche, und ruht nicht, bis er seine Aufgabe als gelöst ansehen kann. Wenn es heute selbstverständlich ist, daß jeder technisch-chemische Großbetrieb in allen seinen Stufen durch analytische Messungen beständig kontrolliert wird, so müssen wir dessen eingedenk sein, daß Bunsen als unser Meister uns hierin vorangegangen ist.

Ein anderer Punkt ist die Mannigfaltigkeit späterer Arbeiten, die von dieser Untersuchung ausgegangen sind. Außer zwei Fortsetzungen, von denen sich die eine auf die Gase eines Kupferofens, die andere auf die englische Eisengewinnung bezieht, finden wir beim Überblick über die späteren wissenschaftlichen Arbeiten Bunsens eine ganze Reihe, deren Wurzeln wir bis an diesen Punkt verfolgen können. Um das Verhalten der über Wasser abgesperrten Gase übersehen zu können, nimmt er weitgehende Untersuchungen über die Absorption auf, kontrolliert und bestätigt die Gesetze von Henry und Dalton, zeigt, daß der Absorptionskoeffizient eine spezifische Eigenschaft jedes Gases ist, und lehrt auf Grund derselben die Natur der Gase kennzeichnen, Gemenge von reinen Gasen unterscheiden und erstere ihrer Zusammensetzung nach bestimmen. Die Notwendigkeit, unter Umständen auch an kleinen Gasmengen die Dichten zu messen, führt einerseits zu der Ausbildung einer Wägungsmethode von höchster Genauigkeit und Einfachheit, andererseits zu dem auf der Geschwindigkeit der Ausströmung durch enge Öffnungen beruhenden, eleganten Verfahren, das noch jetzt in der Leuchtgasfabrikation als das zweckmäßigste benutzt wird. Endlich ergeben die Verbrennungserscheinungen der Gase, auf denen die endiometrische Analyse beruht, eine ganze Reihe von Forschungen über die Geschwindig-

keit und die Grenzen der Verbrennung und deren Abhängigkeit von Zusätzen anderer Gase. Die Vorgänge der gleichzeitigen Verbrennung von Wasserstoff und Kohlenoxyd durch unzureichenden Sauerstoff werden benutzt, um einen Vorstoß in das damals noch vollkommen dunkele Problem der chemischen Verwandtschaft zu wagen. Es ist dies beiläufig fast die einzige Untersuchung Bunsens, deren Ergebnisse sich insofern als unrichtig erwiesen haben, als er einen wesentlichen Umstand, von dem sie abhingen, übersehen hatte. Dieser Umstand war der Gehalt des Gasgemisches an Wasserdampf. Bunsens Schüler, Horstmann, hat später diesen Fehler gefunden und verbessert; es ist sehr bemerkenswert, daß dieser seltene Fund nicht auf einfach erfahrungsmäßigem Wege geschah, sondern dadurch gemacht wurde, daß zwischen jenem Ergebnis und den Folgerungen der allgemeinen Theorie des chemischen Gleichgewichtes und des Massenwirkungsgesetzes, die Horstmann auf Grund der Energetik aufgestellt hatte, keine Übereinstimmung herzustellen war.

Ein anderes Problem, welches seinen Ausgang am gleichen Punkte hat, ist die experimentelle Bestimmung der Flammentemperatur. Schon in jener Jugendarbeit finden sich Berechnungen der durch die Verbrennung der Gichtgase zu erreichenden Temperaturen auf Grund der Verbrennungswärmen und der Wärmekapazität der entstehenden Gasgemenge. Es konnte Bunsen nicht entgehen, daß diese Rechnungen mit den tatsächlichen Verhältnissen im Widerspruch standen, da sie viel zu hohe Temperaturen ergaben. Um nun die wirkliche Temperatur zu finden, bestimmte Bunsen den Druck, der sich in einem geschlossenen Gefäß herstellt, wenn die ganze eingeschlossene explosive Gasmasse plötzlich entzündet wird. Die Aufgabe, diesen nach tausenden von Atmosphären zu beziffernden Druck zu messen, wurde mit verblüffender Einfachheit gelöst. Das Gefäß wurde mit einer belasteten Platte nach Art eines Sicherheitsventiles verschlossen, und es wurde die

Grenze der Belastung bestimmt, bei der die Verschlußplatte bei der Explosion eben nicht mehr abgeworfen wurde. Hierbei stellte sich denn auch tatsächlich heraus, daß der Druck und somit die Temperatur viel niedriger war, als die oben angedeutete Rechnung ergeben hatte; Bunsen führte dies darauf zurück, daß die Verbrennung bei der entstehenden hohen Temperatur unvollständig bleibt und sich erst in dem Maße fortsetzt, als durch die Wärmeableitung eine weitere Temperatursteigerung verhindert wird. Es ist dies die Entdeckung der Dissoziationserscheinungen von der anderen Seite her; während später Deville nachgewiesen hat, daß bei hohen Temperaturen die Stoffe, wie Wasser oder Kohlendioxyd, teilweise in ihre Bestandteile zerfallen, war hier gezeigt worden, daß sich diese Bestandteile bei der hohen Temperatur nur teilweise zu den Verbindungen vereinigen können.

So könnte man noch eine ganze Reihe von späteren Forschungen nennen, die im engsten Zusammenhange mit jener ersten Arbeit stehen. Es bedarf aber keiner weiteren Beispiele, um uns erkennen zu lassen, wie auch die glänzendsten und unerwartetsten Entdeckungen nicht, wie nach Schiller das Glück, aus dem Himmel und aus der Götter Schoß fallen, sondern ruhig und regelmäßig aus vorhandenen Keimen oder Sprossen hervorwachsen. Die auf der Jugendreise gepflegten technisch-chemischen Interessen haben eifrige Bearbeitung des Hochofenproblems veranlaßt, und das Bedürfnis, der für diese Arbeit notwendigen Hilfsmittel nach allen Seiten Herr zu werden, hat dann zu der wissenschaftlichen Untersuchung des Verhaltens der Gase nach allen hier in Betracht kommenden Seiten geführt. Worin sich Bunsens Überlegenheit zeigt, ist in erster Linie die Gewissenhaftigkeit, mit der er alle Voraussetzungen, die er bei seiner Arbeit auf Grundlage des damaligen Zustandes der Wissenschaft hat machen müssen, einzeln auf ihre Richtigkeit oder auf ihre Grenzen prüft. Das hierbei immer wieder benutzte Mittel genauer Messungen in möglichst

weiten Grenzen ist der Zauberstab, unter dessen Berührung die scheinbar einfachsten Dinge zum Reden gebracht werden und dabei die merkwürdigsten Aussagen machen. Hier, meine Herren, sehen wir den Weg offen vor uns, der zu Entdeckungen führt, und dessen bewußte Benutzung bei Bunsen die wesentlichste Quelle seiner Erfolge war.

Vielleicht liefert uns die typische Ausbildung dieser Seite der Forschung bei Bunsen auch eine Erklärung für die merkwürdige Erscheinung, zu der wir uns nun wenden wollen. Gleichzeitig mit den eben erwähnten Arbeiten hatte Bunsen eine Untersuchung über die sogenannte Cadetsche Flüssigkeit begonnen, eine fürchterlich riechende, an der Luft sich von selbst entzündende Substanz, die man durch Destillieren von Kaliumacetat mit Arsentrioxyd erhält. Diese durch sechs Jahre dauernden Untersuchungen über die Kakodylreihe haben wahrscheinlich den Ruhm des jungen Forschers viel schneller verbreitet, als seine gasanalytischen Untersuchungen, denn sie sind unter unglaublichen Schwierigkeiten und Gefahren mit einer Sorgfalt und Sauberkeit bis in die feinsten Einzelheiten durchgearbeitet worden, die ohne Beispiel war. Der Nachweis, daß ähnlich dem fünf Jahre früher von Liebig und Wöhler entdeckten Benzoyl hier ein arsenhaltiges organisches Radikal, das Kakodyl, vorhanden war, dessen Anwesenheit nicht nur in zahlreichen Verbindungen angenommen werden durfte, sondern das auch in Substanz hergestellt wurde, was beim Benzoyl nicht möglich gewesen war, wurde mit Recht als eine wichtige Bestätigung der damaligen Radikaltheorie angesehen; Berzelius, dessen Urteil damals in seinem Jahresberichte zum größten Teile in noch heute gültiger Weise die wissenschaftliche Bedeutung der einzelnen Arbeiten feststellte, wies ihr einen sehr hohen Rang an.

Um so auffallender erscheint es, daß diese meisterhafte Arbeit die einzige geblieben ist, welche Bunsen im organischen Gebiete ausgeführt hat. Suchen wir nach den Gründen

hierfür, so werden wir sie in folgenden Tatsachen finden. Bei Arbeiten dieser Art, deren Charakter ein wesentlich präparativer ist, gibt es nichts Erhebliches zu messen. Außer der Bestimmung der Kristallgestalten der Produkte und der Ermittlung der Zusammensetzung, Dichte, Schmelz- oder Siedepunkte fand sich für diese hervortretendste Seite in Bunsens Wesen keine Betätigung, und so erscheint es verständlich, daß seine Neigung zu der Arbeit bald verschwand. Andere Untersuchungen ähnlicher Art, bei denen nicht einmal der Reiz der Überwindung besonderer Schwierigkeiten vorhanden war, konnten ihn noch weniger locken. Und schließlich hatte er sich wohl gesagt, daß er mit der Kakodylarbeit im letzten Grunde doch nur nach dem von Wöhler und Liebig gegebenen Beispiele vorging, wenn er sich auch ein experimentell viel schwierigeres Thema gewählt hatte. Sein Bedürfnis, möglichst unabgetretene eigene Wege zu gehen, fand bei dieser Art Arbeit zu wenig Befriedigung, und so sehen wir ihn diese reiche Mine ruhig für immer verlassen, nachdem er seinen Schülern Kolbe und Frankland die hier vorhandenen Schätze gezeigt und zur Ausbeutung übergeben hatte. Es ist bekannt, welche reichen Funde namentlich der letztere in dem Gebiete der metallorganischen Verbindungen gemacht hat.

Hieran läßt sich noch eine allgemeine Betrachtung knüpfen. Gewöhnlich stellt man sich vor, daß das Genie seine Ergebnisse nur so aus dem Ärmel schüttet, und daß ihm seine Funde ohne besondere Mühe zufallen. Fragen wir aber die großen Männer, ob Künstler oder Forscher, selbst, so erfahren wir das Gegenteil. Nicht das, was sie leicht und mühelos schaffen, ist das, was ihnen den dauernden Ruhm bringt. Sondern vielmehr der Drang, an der äußersten Grenze des Könnens sich zu betätigen, und die Leidenschaft, diese Grenze auf jede Weise zu erweitern, das ist es, wodurch sie unsere Führer und Vorbilder werden, und auf solchen unbetretenen Höhen finden sie ihre Schätze. Goethes tiefes Wort: „Genießen macht ge-

mein« findet hier am leichtesten Verständnis, wenn man die Ausbeutung eines einmal gefundenen Gebietes nach allen Ecken und Enden durch die talentbegabte Mittelmäßigkeit mit der stolzen Selbstbeschränkung vergleicht, in der ein Großer wie Bunsen sich abwendet, nachdem er den Zugang eröffnet und die wirklich schweren Steine fortgewälzt hat.

Bei diesem Anlaß wären einige Worte über Bunsens Lehrtätigkeit zu sagen. Er war nächst Liebig in seinen jungen Jahren der erfolgreichste und wirksamste Lehrer, und einige Namen aus der großen Reihe seiner Schüler: Kolbe, Frankland, Landolt, Tyndall, Lothar Meyer, Pebal, Roscoe, Horstmann zeigen, in welchem Maße er es verstanden hat, begabte und arbeitsfähige Jünger heranzuziehen und zu bilden, die in seinem Geiste weiter forschten. Aber schon in seiner ersten Heidelberger Zeit macht sich ein merkwürdiger Umschwung geltend, der in den Namen Beilstein, Lieben, von Baeyer seinen Ausdruck findet. Er hat noch immer ausgezeichnete Schüler; sie bleiben aber nicht in der Richtung seiner Arbeiten, sondern gehen später ihre eigenen Wege, welche sie in das Gebiet der damals eben erblühten organischen Chemie führen. Und nachdem aus späterer Zeit noch einer der glänzendsten Namen, der des genialen Victor Meyer, zu nennen ist, in welchem sich beide Seiten der Entwicklung zum letzten Male vereinigt haben, wird die Fülle der großen Namen immer kleiner und kleiner. Nicht daß es an Schülern gefehlt hätte. Aber Bunsen [illegible] mehr auf [illegible] bedacht die [illegible] Arbeit [illegible] ihm lernen [illegible] leitete er [illegible] von einem Schüler [illegible] sondern [illegible]

Man [illegible] und

wenn auch der Tadel hierüber kaum in der Literatur seinen Ausdruck gefunden hat, so ist er doch mündlich oft und rückhaltlos genug ausgesprochen worden. Wir wollen heute nicht loben oder tadeln, sondern untersuchen und feststellen. Wie Bunsens ebenbürtiger Freund Kirchhoff die Aufgabe seiner Wissenschaft, der Mechanik, dahin definiert hat, daß sie die Bewegungen möglichst einfach und vollständig beschreiben soll, so werden wir das meiste aus der angegebenen unzweifelhaften Tatsache lernen, wenn wir sie so vollständig als möglich zu beschreiben, das heißt, ihre Zusammenhänge mit anderen Tatsachen aufzudecken versuchen.

Trägheit und Arbeitsunlust war es nicht, und ebensowenig eine Abneigung gegen den Unterricht überhaupt, denn Bunsen hat in der zuletzt geschilderten Weise bis an das Ende seiner akademischen Tätigkeit tagtäglich gearbeitet und fast seine ganze Zeit den Schülern gewidmet. Er hat also sogar den Berg überwunden, über welchen der begeistertste und erfolgreichste aller chemischen Lehrer, der Erfinder des chemischen Unterrichtslaboratoriums, über den Justus Liebig nicht hinweg gekonnt hat: die Unterrichtsmüdigkeit. Es ist vielleicht nicht so bekannt, wie es im Interesse der allgemeinen Psychologie des Professors sein sollte, daß Liebig, als er in seinem achtundvierzigsten Jahre nach einer beispiellos erfolgreichen Tätigkeit als Lehrer nach München berufen wurde, als erste und unabweisliche Forderung die stellte, daß er ganz und gar nichts mehr mit dem Laboratoriumsunterricht zu tun haben sollte. Sehen wir in dem so inhaltreichen Briefwechsel zwischen Liebig und Wöhler diese Zeit nach, so finden wir sie von Klagen über die Unerträglichkeit der Unterrichtsarbeit erfüllt, und wir müssen feststellen, daß dieselbe Angelegenheit, welcher Liebig in jüngeren Jahren seine beste Kraft gewidmet hatte, ihm später die schlimmste Last seines Lebens geworden war.

Wir begreifen dies, wenn wir uns die Gesamtheit der Tätigkeit eines solchen Mannes vergegenwärtigen. Nach drei

Richtungen kann sich der im Universitätsamte stehende Gelehrte betätigen: als Lehrer, als Forscher und als wissenschaftlicher Schriftsteller. Prüfen wir unter diesem Gesichtspunkt das Lebenswerk unserer besten Männer, so finden wir, daß sie zuweilen nur nach einer, manchmal nach zweien dieser Richtungen tätig gewesen sind, daß aber nur ganz wenige die dreifache Arbeit leisten konnten. Liebig war einer dieser Wenigen, und wir können noch heute nicht entscheiden, ob er größer als Lehrer, als Forscher oder als Schriftsteller war. Aber auf die Dauer war dies auch einem Manne wie Liebig nicht möglich, und wir müssen es als ein großes Glück für die Wissenschaft betrachten, daß ihm in München Gelegenheit geboten wurde, sich durch den Verzicht auf die unmittelbare Lehrtätigkeit für seine anderen Forschungen frei zu halten.

Auch eine derartig konzentrierte Geistesarbeit, wie sie Bunsens Forschungsweise mit sich brachte, ließ sich nicht dauernd mit gleicher Mitarbeit an den Untersuchungen seiner Schüler durchführen. Er verzichtete aber nicht, wie Liebig, auf den Unterricht überhaupt, sondern übte ihn ferner in einer Gestalt aus, die ihm noch etwas geistige Spannkraft für die eigene Forschung übrig ließ. Wer möchte die herrlichen Ergebnisse dieser eigenen Arbeiten geopfert wissen, wenn auch dafür eine Anzahl weiterer Schüler in Bunsens Forschungsrichtung festgehalten worden wären? Angesichts der begrenzten Menge Energie, die auch dem reichsten Geiste nur zu Gebote steht, handelt es sich hier um ein Entweder—Oder, und wir dürfen mit der getroffenen Wahl wohl zufrieden sein.

Diese Betrachtungen berühren einen Punkt, dessen Wichtigkeit für die künftige Entwicklung der deutschen Wissenschaft nicht gering angeschlagen werden darf. Welchen großen Teil der Energie gerade unserer hervorragendsten Forscher, die im akademischen Lehramte stehen, müssen wir zu Arbeiten verbraucht sehen, die von minderen Geistern ebensogut, ja vielleicht meist noch besser geleistet werden könnten! Meist wird

der Forscher, je bedeutender er ist, auch äußerlich einen um so größeren Wirkungskreis haben, und gleichzeitig wächst die Summe der Ansprüche an seine Zeit und Arbeit für Sitzungen, Examina, Verwaltungsgeschäfte aller Art. Statt daß der Mann im vorgerückteren Alter der beginnenden Erschöpfung seiner Kräfte entsprechend entlastet und für die wichtigste aller Arbeiten, die reine Forschertätigkeit, freigehalten wird, beschränkt man ihm zunehmend seine Zeit und Kraft und vernutzt den feingearbeiteten Organismus zu grober Tätigkeit.

Ich beeile mich, hinzuzufügen, daß es nicht überall so ist. Es gibt in Deutschland Unterrichtsbehörden, deren leitende Persönlichkeiten über diese Verhältnisse vollkommen klar sind, und die gegebenenfalls mit einer Feinheit des Verständnisses eingreifen und helfen, die ihnen ein dauerndes und großes Verdienst um die Wissenschaft sichert. Aber ich fürchte, daß doch an mancher maßgebenden Stelle jene nutzlose Verschwendung eines der kostbarsten und seltensten Produkte, welche ein Volk erzeugt, der wissenschaftlichen Genialität, gar nicht als Verschwendung empfunden wird. Ja, ich kann die Befürchtung nicht unterdrücken, daß umgekehrt die Befreiung eines solchen Mannes von der Amtslast unter Bedingungen, daß er seine Forschungen frei fortsetzen kann, als eine nicht zu billigende Verschleuderung staatlicher Mittel angesehen werden könnte.

Doch es ist hier nicht der Ort, diese schwierigen Fragen zu erörtern; wir wenden uns zu Bunsens Arbeiten zurück.

Es ist nicht möglich, hier auch nur die wichtigsten alle zu besprechen; wir nehmen daher alsbald die berühmteste von allen, die gemeinsam mit Kirchhoff gemachte Entdeckung der Spektralanalyse vor.

Auch die Wurzeln dieser Arbeit lassen sich leicht erkennen: sie nahmen ihren Ausgang von Bunsens Bemühungen um die Vervollkommnung der Analyse. Es ist schon erwähnt worden, daß das Interesse an der analytischen Technik bei Bunsen die

Beziehung zu seinen Schülern am längsten aufrecht erhalten hat; ebenso bekannt ist, mit welcher Liebe und mit welchem Erfolg Bunsen an der Entwicklung der analytischen Methoden tätig gewesen ist. Und zwar sind es nicht nur die quantitativen Methoden, wie die der Gasanalyse und der von ihm begründeten Jodometrie, sondern fast noch mehr die qualitativen, die er im Sinne einer fortschreitenden Verfeinerung entwickelt hat. Der Ersatz des Lötrohres durch die von ihm erfundene Gaslampe, und die Ausbildung der „Flammenreaktionen" sind ein laut redendes Zeugnis hierfür.

Aus Bunsens eigenem Munde ergibt sich die Entwicklung der Spektralanalyse als ein regelmäßiges Ergebnis seiner analytischen Tätigkeit. Die farbigen Flammen, welche durch manche Stoffe erzeugt werden, waren schon lange bekannt und wurden auch teilweise zur Erkennung bestimmter Stoffe benutzt. Doch herrschte in dieser Beziehung vielfache Unsicherheit; so war insbesondere das immerwährende Auftreten der gelben Natriumflamme auch dort, wo anderweit nachweisbares Natrium nicht vorhanden war, eine nicht leicht zu deutende Erscheinung. Ebenso erwies sich die Verdeckung der anderen Flammenfärbungen durch das gelbe Natriumlicht als ein böses Hindernis. Bunsen versuchte anfangs die Anwendung von Strahlenfiltern, d. h. von farbigen Gläsern und Lösungen, die nur enge Gebiete von Lichtstrahlen durchließen. In einem Gespräche hierüber mit Kirchhoff, dessen Berufung nach Heidelberg Bunsen kurz nach ihrem Bekanntwerden an der Breslauer Universität bewirkt hatte, schlug ihm dieser als das allgemeinste Mittel zur Trennung der verschiedenen Flammenfärbungen die spektrale Zerlegung des Lichtes vor, und war ihm auch bei der Konstruktion des ersten, recht primitiven Apparates behilflich. Der Erfolg war der bekannte, durchschlagende.

Allerdings bedurfte es noch sehr sorgfältiger Untersuchungen darüber, ob wirklich mit einem bestimmten Stoffe auch stets dasselbe Spektrum verbunden war, und insbesondere

war das nahezu unvermeidliche Auftreten der Natriumlinie einwurfsfrei zu erklären. Mit der charakteristischen Einfachheit der Hilfsmittel erledigt Bunsen diese heikle Aufgabe. Er verpufft drei Milligramme Natriumchlorat mit Milchzucker in seinem Zimmer und findet, daß die Lampe etwa zehn Minuten lang ein deutliches Natriumlicht ausstrahlt. Da eine Sekunde zur Beobachtung reichlich genügt, so ergibt sich unter Berücksichtigung des Rauminhaltes des Zimmers und der Luftmenge, welche in einer Sekunde durch den Brenner geht, die obere Grenze der Natriummenge, die man auf solche Art nachweisen kann. Bunsen findet die unvorstellbare kleine Menge von einem Dreimilliontel Milligramm. Hernach ist ihm bei anderen Versuchen der gleichen Art der Zweifel gekommen, ob nicht der entstandene Rauch im Zimmer allzu ungleich verteilt war. Um sich darüber zu beruhigen, nimmt er seinen Regenschirm, spannt ihn auf und bringt mit seiner Hilfe die gewünschte Gleichförmigkeit der Luftmischung zu Wege.

Wieder sehen wir, wie der Zauberstab quantitativer Messungen die Wirkung hat, den Forscher aus dem Gewirre unsicherer Möglichkeiten auf den sicheren Boden übersehbarer Tatsachen zu geleiten. Dabei handelt es sich nicht einmal um sehr exakte Messungen im Sinne hoher prozentischer Genauigkeit, sondern nur um Feststellung der Größenordnung. Indem Bunsen die Erscheinung auf solche Weise in die zusammensetzenden Faktoren auflöst, gelangt er zu seinem einfachen und weittragenden Ergebnis.

Überblickt man in solchem Sinne die Entdeckung der Spektralanalyse, so macht sie den Eindruck, als sei gar kein besonderer Aufwand von Scharfsinn dazu erforderlich gewesen. Darf ich meine Überzeugung dahin aussprechen, daß in der Tat in dieser Entdeckung nicht mehr Scharfsinn steckt, als in vielen anderen, die Bunsen gemacht hat? Daß wir seinen Erfolg so sehr bewundern, liegt nicht in dem, was bei dem Entdecker vorangegangen war, sondern in dem, was der

gemachten Entdeckung nachfolgte. Die Möglichkeit, auf Grund des neuen Verfahrens die chemische Zusammensetzung der Sonne und der Gestirne zu bestimmen, an deren qualitative Analyse vorher niemand zu denken gewagt hatte, ist maßgebend für die Hochschätzung dieser Sache geworden, und man hat die Größe des Anwendungsgebietes mit der Größe des Mittels verwechselt. Ich sage dies nicht, um Bunsen zu verkleinern. Für mich bliebe die Wertschätzung seines Geistes die gleiche, wenn er sich auch zufällig nicht mit der Frage der Lichtemission glühender Dämpfe beschäftigt hätte, und wenn die Entdeckung der Spektralanalyse einem anderen zugefallen wäre. Aber andererseits mußte er seine Entdeckung machen, wenn er sich mit dieser Angelegenheit befaßte, denn aus seinen anderen Arbeiten, so z. B. den unmittelbar vorausgegangenen photochemischen Untersuchungen, geht hervor, daß ihm der Sprung von sorgfältigster Einzelarbeit an kleinsten Stoffmengen zu der umfassenden Betrachtung tellurischer und kosmischer Gesamtvorgänge vollkommen natürlich und geläufig war.

Mit solchen Betrachtungen an der Hand von Bunsens Arbeiten könnte ich noch lange fortfahren; wie wäre es denn möglich, den Reichtum eines solchen Geistes auch nur nach einer Seite im Rahmen eines kurzen Vortrages zu erschöpfen? Aber ich muß mich beschränken und will nur noch auf einen wichtigen Punkt hinweisen. In allen Arbeiten Bunsens nehmen wir wahr, wie er, von einer ganz bestimmten und begrenzten Frage ausgehend, alsbald zu den mannigfaltigsten Wechselbeziehungen eben dieser Frage mit zahlreichen anderen wichtigen Dingen kommt. Umgekehrt beantwortet er solche Fragen nie auf eine einzige Weise, sondern er gelangt von ganz verschiedenen Seiten auf den gleichen Punkt. Kurz, er hat, um mit einem anderen deutschen Geistesriesen zu sprechen, stets mehr als ein Eisen im Feuer.

An dieses überaus wichtige Prinzip der wissenschaftlichen

Technik wurde ich erinnert, als vor einiger Zeit bei Gelegenheit der täglichen Laboratoriumsgespräche Herr Dr. Bredig auf gewisse Schwierigkeiten hinwies, die zur Zeit sich der Entwicklung der physikalischen Chemie entgegenstellen. Überlegt man, daß allein die Zeitschrift für physikalische Chemie mit ihren vier jährlichen Bänden einen Umfang von fast dreitausend Seiten hat, so daß ein Chemiker, der nur von dieser Seite seiner Wissenschaft vollständige Kenntnis nehmen will, täglich, eingeschlossen Sonn- und Feiertage, je acht Druckseiten lesen und verdauen muß, so begreift man, welche Schwierigkeit die Fachgenossen, die sich den anderen Gebieten unserer Wissenschaft widmen, bei dem Versuch des Eindringens in die physikalische Chemie empfinden, und wie natürlich es erscheinen muß, wenn sie sich diese Belästigung fernhalten. Es wurde die Frage erörtert, ob sich nicht Mittel finden ließen, den allgemeinen Zusammenhang der Wissenschaft trotzdem aufrecht zu erhalten, und es wurde an eine Fusion unserer Gesellschaft mit der Chemischen Gesellschaft, oder an einen allgemeinen Verband der chemischen Vereine mit gegenseitiger Erleichterung des Bezuges der Schriften gedacht. Mich hatte Dr. Bredigs Anregung lebhaft berührt, doch konnte ich lange keinen gangbaren Weg finden; immer, wenn ich irgend einen Plan mir in die Wirklichkeit übersetzt vorstellte, wollte die Sache nicht gehen und die verschiedenen Elemente keine wohlkristallisierte Verbindung geben.

Schließlich wurde mir klar, daß wir bei unserer Elektrochemischen Gesellschaft einen Anfang machen müssen. Die Elektrochemie war seinerzeit der Trompetenstoß gewesen, der die zerstreuten Truppen zusammengerufen hatte, aber bereits in den letzten Jahren hat es sich gezeigt, daß in unserer Gesellschaft allerlei andere Dinge nach Luft und Licht verlangten, die nicht Elektrochemie waren. Alle unter uns, die vor drei Jahren in Leipzig an der Versammlung teilgenommen hatten, werden sich erinnern, mit welchem dankbaren Interesse wir

Dr. Goldschmidts prachtvolle Versuche über die Reduktion von Metalloxyden mit Aluminium und Dr. Zsigmondys Vorführung wässeriger Lösungen von metallischem Golde entgegennahmen, die doch beide mit der Elektrochemie recht wenig zu tun haben. Und ähnliche Erscheinungen haben sich seitdem wiederholt. Außer der Elektrochemie gibt es noch zahlreiche andere Gebiete der physikalischen Chemie, die theoretisches und praktisches Interesse haben, und für welche früher oder später eine Zusammenfassung der beteiligten Fachgenossen eintreten wird und muß. Hat da nicht unsere Gesellschaft das Recht und die Pflicht, sich zum Organ solcher Bestrebungen darzubieten, indem sie sich zu einem Vereine erweitert, der sich die Pflege des ganzen Gebietes der physikalischen Chemie, insbesondere im Sinne einer Vermittlung zwischen Wissenschaft und Technik, zur Aufgabe stellt?

Nun, meine Herren, ich sehe ihre erstaunten Gesichter und höre sagen: das ist ja ganz gut und schön, und wir wollen darüber reden, aber was hat das mit Bunsen zu tun? Ich bitte nur noch um ganz wenig Geduld.

Als ich in meinen Überlegungen so weit gekommen war, machte ich wieder das Experiment im Kopfe, daß ich mir die umgewandelte Gesellschaft in Tätigkeit vorstellte. Da entstand alsbald die neue Frage: wie soll sie heißen? „Deutsche Physikalisch-chemische Gesellschaft" ging nicht, das brachte die entscheidende Beziehung zur Technik nicht zum Ausdruck. „Deutsche Gesellschaft zur Pflege der Beziehungen zwischen wissenschaftlicher und technischer physikalischer Chemie" brachte dies wohl zum Ausdruck, aber ich sehe es Ihren Gesichtern an, daß Sie mit mir einig sind: auch dieser Name geht nicht. Und es sah aus, als sollte der ganze Plan an dem Mangel eines geeigneten Namens für das neue Gebilde scheitern. Denn ohne einen Namen, der jedermann alsbald klar machte, was wir wollten und in welchem Sinne wir arbeiteten, konnten wir nicht darauf

rechnen, uns zur Geltung und zu umfassender Tätigkeit zu bringen.

Sehen Sie nun, meine Herren, was diese Sache mit Bunsen zu tun hat? Der Name Bunsen ist das Panier, unter dem sich freudig alle die scharen werden, deren Mitarbeit wir uns wünschen. Als Deutsche Bunsengesellschaft wollen wir an die große Aufgabe gehen, die vorher bezeichnet worden ist, im Sinne Bunsens wollen wir uns bemühen, einerseits überall im Gebiete der physikalischen Chemie die vorhandene Technik wissenschaftlich zu vertiefen, andererseits die Ergebnisse der Wissenschaft der Technik zu vermitteln und ihr so stets frisches Lebensblut zuzuführen. Wer hat dies vorbildlicher und uneigennütziger getan, als Bunsen, wer hat mehr als er verstanden, die Praxis wissenschaftlich und die Wissenschaft praktisch zu machen? Indem wir uns nach ihm nennen, stellen wir uns sein großes Beispiel beständig vor Augen. Sein Name wird uns aufschrecken, wenn wir einmal zu ungünstiger Zeit uns in Einseitigkeit und Engherzigkeit verlieren wollten. Als ein vollkommener Katalysator wird er auf uns und unsere Nachfolger wirken, alles Gute und Große fördernd und beschleunigend, das wir hervorzubringen fähig sind, und alle unerwünschten und störenden Nebenprodukte verhindernd und vernichtend.

Ein prächtiges Denkmal wird sich bald an der Stelle erheben, an welcher Bunsen den größten Teil seines arbeits- und segensreichen Lebens verbracht hat. Aber wie könnte ein Bild aus Erz oder Marmor das ausdrücken, was Bunsen uns war und immer sein wird? So wollen wir uns selbst in dem Besten, was wir geben können, in unserer Arbeit, ihm zum Denkmal darbringen. Was sterblich an ihm war, wird uns jenes Bild in die Erinnerung zurückrufen. Was aber der Tod nicht vernichten konnte, das ewige Erbe seines großen Geistes lebendig zu erhalten, daß es Frucht und Segen von Jahrhundert zu Jahrhundert bringe, das soll die

dauernde Aufgabe seines lebendigen Denkmals, der Deutschen Bunsengesellschaft sein! (70)

Rede am Grabe Robert Bunsens.

Hochansehnliche Versammlung! Nachdem wir vor wenigen Tagen unsere Zusammenkunft mit der Betrachtung von Robert Bunsens Lebenswerk eingeleitet hatten, drängt es uns heute, sie zu schließen, indem wir den Tribut unserer Liebe und Ehrfurcht auch an dieser Stelle niederlegen, wo unter einem Hügel Erde das Wenige ruht, was von seiner körperlichen Erscheinung übrig geblieben ist. Wie gerne wären wir vor sein Haus gezogen und hätten aus seinem leuchtenden Auge und herzlichen Lächeln den Segen empfangen, dessen wir zu dem Werke bedürfen, das wir in seinem Namen auszuführen gedenken. Es hat nicht sein sollen: der unerbittliche Tod hat uns jene Tür verschlossen und weist uns an diesen Ort der Trauer.

Aber wir wissen eines. Wir wissen, daß der kleine Rest von Staub und Asche unter diesem Hügel ebensowenig das darstellt, was wir Bunsen nennen, wie eine einzelne Welle, die im letzten Abendlicht verrinnt, den Strom bedeutet, auf dessen Oberfläche sie dahinzieht. Nein; den Strom sehen wir durch weite Länder ziehen, wir sehen ihn hier Schiffe tragen, dort Mühlen treiben, dann Felsen durchbrechen und Täler wässern. So wandern auch unsere Gedanken von diesem Orte alsbald über weite und herrliche Länder zurück, die er uns erschlossen und wir werden uns dessen inne, daß diese Grabstätte nur ein Symbol ist eines wundersamen Lebens, eines Lebens voll Glanz und unendlicher Fülle, segensreich in der Vergangenheit und unvernichtbar für die Zukunft.

Ja, unvernichtbar und unsterblich ist dieses Leben. Vielfältig sind die Formen, in denen sich frommer Glaube den unausdenkbaren und unvollendbaren Gedanken der Ewigkeit zu versöhnen sucht. Und unsere Wissenschaft lehrt uns ja auch eine Ewigkeit und Unzerstörbarkeit, die des Stoffes und der

Energie. Aber wir fühlen es: diese Unsterblichkeit ist es nicht, die wir hier empfinden, sondern hier ist mehr. Denn beide, der Stoff wie der Energie, sind zwar unverwüstbar der Menge nach, aber auch unerkennbar und unpersönlich nach ihren Wandelungen. Einen Tropfen Wasser können wir vom anderen nicht mehr unterscheiden, wenn auch der eine als Todesschweiß die Stirn eines Sterbenden bedeckt hatte, und der andere als Freudenträne im Augenblicke höchster menschlicher Seligkeit ein liebendes Auge schmückte. Aber ein Leben wie Bunsens behält Art und Wert dauernd, und er ist auch nach seinem körperlichen Tode nicht wieder ein Teil einer unterschiedlosen Masse geworden.

Und noch in anderer Weise unterscheidet sich das geistige Leben von dem des Stoffes und der Energie. Das letztere ist von dem Gesetze der Erhaltung beherrscht, bei jenem dürfen wir ein Gesetz der Steigerung und Vermehrung erkennen. Denn Bunsen lebt uns ja. Täglich erfahren wir von neuem seine Belehrung und Führung, täglich können wir unsere Kräfte durch seine Hilfe stärken, und unerschöpflich bleibt diese Wirkung bis in die fernsten Zeiten. Zwar werden nach nicht langer Zeit auch die letzten Männer dahin sein, in deren Geist er persönlich die Keime seiner Wissenschaft gesäet hatte. In wunderlich gebrechlicher Gestalt stellt sich uns dann diese Unvergänglichkeit dar. Einige Bogen Papier und schwarze Zeichen darauf — das ist die Quelle, aus der uns fort und fort Bunsens Leben entgegensprudelt, aus der unerschöpflich und unversiegbar jedem Naturforscher immer neue Kraft und Hilfe sich darbietet. Und wenn die Blätter, auf denen Bunsens Arbeiten zuerst gedruckt worden sind, zu Staub zerfallen, so sind inzwischen neue Drucke hergestellt worden, in die ohne Verlust alles übergegangen ist, was jene ersten enthalten hatten.

Erkennen wir so ein Gesetz der Erhaltung der geistigen Energie, so werden wir auch das ihrer Vermehrung nicht verkennen können. Nachdem er uns in der Spektralanalyse

gleichsam einen neuen Sinn verliehen hatte, nehmen wir mit dessen Hilfe nicht nur wahr, was er damit gefunden hatte, sondern fast unabsehbar weit sind die Entdeckungen gediehen, die nach ihm ohne seine persönliche Teilnahme gemacht worden sind, und die doch nicht hätten gemacht werden können, wenn er nicht vorangegangen wäre. Und so wirken alle seine Arbeiten, nicht allein unvernichtbar wie die Materie, sondern lebend und sich vermehrend nach höheren Gesetzen.

Indem er als erster durch die Wildnis des Unerklärten uns seine königlichen Wege gebrochen hat, spart er allen nachfolgenden Generationen die dazu erforderliche Arbeit, und ermöglicht es ihnen dadurch, ihrerseits unermüdet weiter zu dringen. So nehmen wir sein Leben in das unsere auf, und je mehr jeder von uns davon aufnimmt, um so wirksamer und lebendiger wird es. Das ist die Unsterblichkeit, die wir an ihm empfinden.

Und wenn selbst, zwar nicht nach Jahrhunderten, aber vielleicht nach Jahrtausenden die Formen menschlichen Denkens sich so weit geändert haben werden, daß eine unmittelbare Wirkung solcher Art weniger und weniger stattfindet, so wird doch das geistige Leben jener fernen Zeit aus dem unserigen hervorgewachsen sein und darum seine Bestandteile enthalten. Vielleicht macht sich dann das Gesetz geltend, daß auch die gewaltigste Persönlichkeit allmählich in der großen Einheit des geistigen Lebens verschwindet — seiner Wirkung nach kann es aber nicht verschwinden und bleibt doch unsterblich und wirksam.

Meine Herren! Mit Ernst und Ehrfurcht zwar, aber nicht in hoffnungsloser Trauer nehmen wir von dieser Stätte Abschied. Wir wissen, daß wir mit uns nehmen und in uns bergen, und unseren Kindern und Kindeskindern übermitteln können, was uns Teueres und Wertes entgegenklingt aus dem Namen Robert Bunsen.

7

JOHANNES WISLICENUS

(Gedächtnisrede, gehalten in der Leibniz-Sitzung der Kgl. Sächs. Gesellschaft der Wissenschaften zu Leipzig am 14. November 1903.)

Hochgeehrte Versammlung!

Indem ich mich anschicke, erhaltenem Auftrage gemäß, Worte der Erinnerung und des Dankes an unseren dahingeschiedenen Johannes Wislicenus zu sprechen, fühle ich lebhaft, wie wenig diese Worte Ihnen sein können. Ist doch niemand in diesem Kreise, der dem Verewigten nicht persönlich nahe gestanden hätte, sind doch viele unter uns, die ihn Freund nennen durften. In all diesen Herzen lebt ein so frisches und reiches Bild des Verewigten, daß es eine undankbare und vergebliche Mühe wäre, dieses Bild noch frischer und reicher gestalten zu wollen. Ja, auch dem Fernerstehenden, der nur ein- oder das anderemal mit Wislicenus zusammengetroffen sein mag, hat sich sein Bild jedesmal immer tiefer eingeprägt, denn er gehörte zu den Männern, die geistig und leiblich sich auf den ersten Blick aus ihrer Umgebung hervorheben.

Aber die Gesellschaft der Wissenschaften hat eine weiterreichende Aufgabe zu erfüllen. Es handelt sich nicht nur darum, dem langjährigen Mitgliede, dem Manne, der in arbeitsreichen und verantwortungsvollen Zeiten die höchste Würde bekleidet

hat, die sie vergeben kann, in feierlicher Versammlung den letzten Dank für alle die Arbeit und Förderung nachzurufen, die er ihr erwiesen hat. Es gilt vielmehr, auch den nachwachsenden Geschlechtern das Bild dieses Mannes lebendig zu halten, und durch die Würdigung dessen, was er der Wissenschaft und unserer Gesellschaft geleistet hat, etwas zu der Dauerwirkung beizutragen, die ein jeder von uns an seinem Teile erstrebt.

Reicher und mannigfaltiger als sonst ein Gelehrtenleben, haben sich die Schicksale von Johannes Wislicenus, namentlich der ersten Hälfte seines Lebens, gestaltet. Als Sohn des lutherischen Pfarrers Gustav Adolf Wislicenus wurde er am 24. Juni, dem Johannistage des Jahres 1835, zu Klein-Eichstädt geboren. Fast ein jeder von uns hat im Vorüberfahren von der Thüringer Eisenbahn aus einen Blick auf das bescheidene Dörfchen an der Saale geworfen, wenn bei den gemeinsamen Fahrten nach Kösen Wislicenus mit sichtbarer Freude uns die Stätten seiner glücklichen Kinderjahre wies. Im Jahre 1841 siedelte die Familie nach dem nahen Halle über, wo der Vater ein Pfarramt an der Neumarktkirche übernommen hatte. Seine freisinnige Richtung und deren offene Betätigung brachten ihn mit der vorgesetzten Kirchenbehörde in Konflikt; 1846 wurde er wegen „unchristlicher Ansichten" seines Amtes enthoben, und 1853 wurde er wegen eines Werkes, „Die Bibel im Lichte der Bildung unserer Zeit", zu zwei Jahren Gefängnis verurteilt.

Man kann sich leicht vorstellen, welchen Eindruck diese Ereignisse auf den feurigen und geistvollen Jüngling machten. Johannes hatte inzwischen die Realschule der Franckeschen Stiftungen in Halle durchgemacht und seine naturwissenschaftlichen Studien an der Halleschen Universität begonnen, als zu den Sorgen und Entbehrungen, denen die große Familie des stellenlosen Pfarrers ausgesetzt gewesen war, noch dies Äußerste trat. Hier galt es, das Ungewöhnliche zu wagen. Gustav

Adolf Wislicenus entzog sich der drohenden Kerkerhaft durch die Flucht nach Amerika, und Johannes hatte die Familie dem Vater nachzubringen. Dieser Aufgabe stellten sich Fährlichkeiten aller Art entgegen; so brach auf dem Schiffe während der Fahrt die Cholera aus, und es mußte nach England zurückkehren; dort versiegten die kargen Mittel der Familie, und der fast noch in den Knabenjahren stehende Jüngling hatte einen Lebenskampf zu bestehen, dem mancher Mann unterlegen wäre. Er hat ihn erfolgreich bestanden, und die früh unter schwerer Verantwortung bewährte männliche Reife und Energie erklärt uns den Zauber, der von seiner Persönlichkeit ausging.

In Amerika war es wieder der junge Johannes, auf dessen Schultern die Sorge um die Familie in der Hauptsache lag. Die kaum erworbenen chemischen Kenntnisse mußten hierfür die Mittel bieten: als Assistent des Professors Horsford in Cambridge bei Boston und später als Leiter eines selbständigen Untersuchungslaboratoriums in New York suchte er sein Wissen zu verwerten. Nach zwei Jahren wurde es der Familie ermöglicht, nach Europa zurückzukehren. Zwar Deutschland blieb dem Vater verschlossen, so wurde Zürich zum Aufenthalt gewählt. Johannes aber ging nach Halle zu seinem Lehrer Heintz zurück, dessen Privatassistent er schon vor der Reise gewesen war, beendete dort seine Studien, erwarb auf Grund einer experimentellen Arbeit über ein basisches Zersetzungsprodukt des Aldehydammoniaks im Jahre 1859 den Doktorgrad und betrieb darauf seine Habilitierung an der Universität.

Diese sollte ihm indessen nur unter der Bedingung gestattet werden, daß er sich aller öffentlichen politischen Tätigkeit enthielte. Wislicenus wies diese seinem Freiheitssinne unerträgliche Zumutung zurück und wendete sich wieder nach Zürich, wo er im folgenden Jahre sich für das Fach der Chemie habilitierte. In schneller Folge erhielt er Lehraufträge an der kantonalen Industrieschule, an der Universität und schließlich am eidgenössischen Polytechnikum zu Zürich; 1871 wurde er

Direktor dieser Anstalt, nachdem er 1867 zum ordentlichen Professor an der Universität ernannt worden war. Im Jahre 1872 konnte er mit hohen Ehren in sein Vaterland zurückkehren, in dessen eben erreichter Einheit er die Träume und Hoffnungen seiner Jugend verwirklicht fand, indem er als Nachfolger Streckers auf den Lehrstuhl der Chemie in Würzburg berufen wurde. Im Jahre 1885 endlich wurde er der Nachfolger Kolbes am chemischen Universitätslaboratorium in Leipzig. So hatte das Schicksal ihn nach weiten Umwegen wieder in die nächste Nähe des Ortes seiner Geburt und seiner ersten Studien geführt und den Kreis seines Lebens räumlich geschlossen.

Gemahnen uns in dieser Lebensgeschichte die Ereignisse der Jugend an Zeiten, die wir jüngeren uns längst im Nebel der Ferne zu betrachten gewöhnt haben, so erinnern uns auch die wissenschaftlichen Arbeiten aus Wislicenus' Jugend an Zeiten, die dem Bewußtsein des heutigen Chemikers noch weiter zurückzuliegen scheinen als jene Ereignisse der politischen Geschichte. Denn die Chemie hat in dem halben Jahrhundert, welches seit jenen Arbeiten vergangen ist, schnellere Fortschritte gemacht als irgend eine der benachbarten Wissenschaften. War doch eben erst durch die glanzvollen Arbeiten der Liebigschen Epoche die organische Chemie als eigene Wissenschaft begründet worden, die dann in unwiderstehlichem Vordringen sich bald der gesamten Chemie bemächtigen sollte, um erst wieder in unseren Tagen zögernd in die Reihe der Schwestergebiete zurückzutreten, durch deren gleichförmiges und gemeinsames Zusammenwirken allein die chemische Wissenschaft ein dauernd lebensfähiger Organismus wird.

Wir besitzen von Wislicenus' eigener Hand, in seiner Denkschrift auf seinen Lehrer und Freund Heintz, eine lebendige Schilderung der eifrigen Kämpfe, die damals zwischen alter und neuer Chemie tobten, und die wie immer zu einem Siege des Neuen führten, der sich schließlich aber doch als ein vorübergehender erweisen sollte. Denn auch das Neue

wird zu seiner Zeit alt, und bei einer in so lebhafter Entwicklung begriffenen Wissenschaft wie die Chemie tritt dieser Wechsel schneller ein als sonst. Pflegt doch bei uns eine fundamentale Wendung nicht einmal die Lebensdauer eines einzelnen Mannes abzuwarten; jeder Chemiker, der das durchschnittliche Lebensalter durchmißt, hat während desselben einige Male seine Wissenschaft von Grund aus umlernen müssen.

Ebenso stürmisch wie die politischen Verhältnisse waren also damals auch die chemischen. Im Anschluß an die Grundgedanken, mit denen Berzelius zum ersten Male die gesamte chemische Wissenschaft zu einem zusammenhängenden Bau geordnet hatte, hatte sich der Begriff des chemischen Radikals als vergleichbar dem des chemischen Elements entwickelt. Aber schon zwischen Berzelius und Liebig war trotz aller Bemühungen, ihn zu vermeiden, mit einer fast naturgesetzlich berührenden Notwendigkeit ein unlösbarer Widerspruch ausgebrochen, und wieder über Liebigs und seines Zeit- und Arbeitsgenossen Dumas Ansichten hinaus hatten der Elsässer Gerhardt und der Franzose Laurent die Fahne des Aufruhrs erhoben. In diese Zeit hinein fielen die ersten wissenschaftlichen Arbeiten von Johannes Wislicenus, und wir sehen ihn alsbald neben seinen experimentellen Untersuchungen eine theoretische Arbeit über die gemischten Typen auf den Kampfplatz werfen. Es bedarf nicht erst der Nachricht, daß er sich ganz und gar den Neuerern anschloß; doch enthielt die Arbeit außerdem einen Versuch, die kaum geklärten neuen Vorstellungen bereits im Sinne ihrer Weiterentwicklung zu bearbeiten.

Hiermit ist denn auch der Grundton angegeben, auf den die Melodie seiner wissenschaftlichen Arbeiten gestimmt blieb, ebenso wie in jenen Ereignissen seiner Jugend der Grundton für die Symphonie seiner Persönlichkeit gegeben war. Der organischen Chemie gehört das Werk seines Lebens an, und wenn die Freiheit seines Denkens und die Weite seines Blickes

ihm bis in sein Alter die Fähigkeit erhalten hatten, den neuen Wendungen in der Entwicklung seiner geliebten Wissenschaft mit freudiger Teilnahme zu folgen, so hat er die eigentliche Arbeit seines Lebens doch auf dem Acker der organischen Chemie getan.

Diese Arbeiten lassen sich um drei Hauptprobleme ordnen, wobei natürlich zwischen den drei Gruppen noch mannigfaltige Verschlingungen bestehen; sie fallen zudem der Hauptsache nach mit den drei Perioden seines äußeren Lebens zusammen. In Zürich beginnen die Arbeiten über die Milchsäure, die sich unmittelbar an jene vorher erwähnten theoretischen Untersuchungen anschließen. In Würzburg ist es die große Gruppe der Acetessigesterarbeiten, welche seinen wissenschaftlichen Weltruf begründen, und in Leipzig bilden die Isomerieerscheinungen ungesättigter Verbindungen und die damit zusammenhängenden Probleme der „geometrischen" Isomerie einen neuen Höhepunkt seiner wissenschaftlichen Tätigkeit, die sich zu einer Zeit neu entfaltet, in welcher andere Forscher bereits ans Ausruhen zu denken beginnen. Und wie in seinem äußeren Leben, so führt auch in seiner wissenschaftlichen Arbeit ihn das Ende wieder in die Nähe des Anfanges zurück. Seine letzte Arbeit, die er, obwohl bereits leidend, noch mit seinem ganzen Feuer und seiner ganzen Freude an dem wissenschaftlichen Ergebnis an dieser Stelle vorgetragen hat, die Untersuchung über die geometrisch isomeren Dimethyläthylene, behandelt das gleiche Problem, dessen Wichtigkeit ihm zuerst an der Milchsäurearbeit aufgegangen war, und dessen mögliche Lösung er bereits in jenen weit zurückliegenden Arbeiten angedeutet hatte.

In jenen ersten Arbeiten über die Milchsäure und die daran sich anschließenden Stoffe waren es anfangs Fragen über die Auffassung der Verbindungen mehrwertiger Radikale, welche die Wahl dieses besonderen Arbeitsgebietes veranlaßten. Bald aber verschob sich der Gesichtspunkt, und das Isomerieproblem, die Frage, wieso es möglich sei, daß gleich zusammengesetzte

Verbindungen verschiedene Eigenschaften haben können, und welchen Gesetzen diese Verschiedenheiten unterliegen, trat ihm in den Vordergrund, um für immer dort zu bleiben. Welche Bedeutung gerade diese Frage für Wislicenus besaß, geht daraus hervor, daß er sie wiederholt zum Gegenstande allgemeinverständlicher Darstellungen wählte. So hatte sich ihm schon früh bei seinen Milchsäurestudien die Erkenntnis aufgedrängt, daß die eben von ihm theoretisch durchgearbeiteten, gebräuchlichen Auffassungen über die Isomerie nicht ausreichend waren, um die beobachteten Tatsachen darzustellen, und er forderte eine Entwicklung der bisher auf der Ebene des Papieres dargestellten Strukturformeln der chemischen Verbindungen zu räumlichen Darstellungen.

Das Problem, um das es sich hier handelt, würde in allgemeiner Auffassung so heißen: Welche Mannigfaltigkeit muß einer Abbildung erteilt werden, damit die Mannigfaltigkeit der chemischen Isomerieerscheinungen durch sie vollständig dargestellt wird? In solcher Allgemeinheit stellte sich Wislicenus die Frage nicht. Er war, wie alle seine Zeit- und Fachgenossen, überzeugter Atomistiker, und wie alle seine Überzeugungen war ihm auch diese nicht nur Verstandes- sondern auch Herzenssache. Viele unter uns werden sich seiner warmen Eintretens für die Atomistik gelegentlich seiner hiesigen Rektoratsrede erinnern, als er sie durch gewisse neuere Entwicklungen der Wissenschaft bedroht fand.

Einen Versuch, selbst jene geforderte Ausdehnung der chemischen Formeln in den Raum zu unternehmen, hat er zunächst nicht gemacht. Die Übersiedlung nach Würzburg brachte mit der Vermehrung der Schülerzahl die Forderung, für entsprechende Arbeiten zu sorgen, und so entwickelte sich jene glänzende Gruppe synthetischer Forschungen, die sich um den Acetessigester schlossen. Wislicenus fand, daß dieser Stoff eine sehr leichte teilweise Vertretung seines Wasserstoffes durch Natrium gestattete, und daß die so erhaltenen Natrium-

verbindungen ebenso leicht mit Halogenverbindungen aller Art reagierten; die dabei entstehenden Produkte entsprachen einer „Kohlenstoffsynthese", d. h. sie enthielten mehr verbundene Kohlenstoffatome in ihrer Molekularformel, als die Ausgangsstoffe enthalten hatten. Derartige Reaktionen waren damals recht selten und meist schwierig und unvollkommen ausführbar, und so wurde eine Kohlenstoffsynthese sozusagen als das Meisterstück des Organikers angesehen. Hier war auf einmal ein Tor geöffnet, das zu zahllosen synthetischen Produkten den Zugang ermöglichte, und dabei gleichzeitig Verbindungen ergab, deren Konstitution mehr oder weniger bestimmt durch die Synthese selbst gegeben war. So ergoß sich denn unter der begeisterten Mithilfe eines beständig wachsenden Schülerkreises eine reiche Fülle entsprechender Arbeiten über die staunende Chemikerwelt und verbreitete den Ruhm des Entdeckers und Lehrers in die weitesten Kreise.

Inzwischen war der seinerzeit liegengebliebene Gedanke von der räumlichen Darstellung der chemischen Formeln unabhängig in einem anderen Kopfe entstanden und dort zur Reife gebracht worden. Jakobus Henricus van't Hoff, damals kaum den Studentenjahren entwachsen, hatte ihn erfaßt und in seinen Hauptzügen durchgeführt; dabei hatte sich erwiesen, daß er in der Tat das zu leisten vermochte, was Wislicenus von ihm erwartet hatte. Dieser nahm den Fortschritt mit Wärme auf und veranlaßte seinen Schüler Hermann, van't Hoffs Schrift ins Deutsche zu übersetzen. Zunächst erntete Wislicenus geringen Dank hierfür; die meisten Fachgenossen ließen diese Hervorhebung der Arbeit des völlig unbekannten Holländers dem verehrten Kollegen als liebenswürdige Schrulle hingehen; andere, unter ihnen der damalige Chemiker an unserer Universität, Hermann Kolbe, sahen darin ein wissenschaftliches Vergehen, das die strengste Rüge verdiente. So blieb auch dieser zweite Vorstoß zunächst ohne weitere Folgen.

Inzwischen aber hatte van't Hoff unermüdlich an der Ent-

wicklung des Gedankens weiter gearbeitet, und ebenso hatte Wislicenus seiner Anwendung auf das Isomerieproblem eine ganz größere Aufmerksamkeit geschenkt. Diese Arbeiten fielen zeitlich mit seiner Übersiedlung nach Leipzig zusammen, und sie wurden zusammengefaßt in der berühmten Abhandlung von 1887: *Über die räumliche Anordnung der Atome in organischen Molekülen und ihre Bestimmung in geometrisch-isomeren ungesättigten Verbindungen,* die das erste Heft des vierzehnten Bandes unserer Abhandlungen bildet. Die Aufmerksamkeit, welche diese Arbeit in den weitesten Kreisen der Fachgenossen erregte, läßt sich schon äußerlich daran erkennen, daß die erste Auflage des Heftes in kurzer Zeit vergriffen war und ein zweiter Abdruck sich als nötig erwies: eine Erscheinung, welche an unseren Abhandlungen außerdem nur bei **Wilhelm Webers** elektrodynamischen Maßbestimmungen eingetreten ist.

Mit dem Ausbau der hier niedergelegten Gedanken hat sich **Wislicenus** bis an sein Lebensende beschäftigt, und er hat seinen in Leipzig noch größer gewordenen Schülerkreis in gewohnter Weise mit dem gleichen Interesse zu erfüllen gewußt. Haben sich auch nicht alle Vorstellungen widerspruchsfrei durchführen lassen, in welche er damals die Tatsachen zusammenzufassen gesucht hatte, so ist doch durch diese Forschungen ein großes Gebiet der Wissenschaft erschlossen worden, an dem die Chemiker vorher mit einer gewissen Scheu vorüberzugehen pflegten, weil sie wußten, daß dort Widersprüche gegen die übliche Auffassung vorhanden waren. Denn damals war noch weniger als jetzt die geschichtlich leicht zu belegende Tatsache bekannt, daß derartige unregelmäßige Stellen am Baume der Wissenschaft die Punkte bezeichnen, an denen demnächst eine Knospe und später ein neuer Zweig sich entwickeln wird.

Diese Andeutungen müssen genügen, um die wissenschaftliche Tätigkeit unseres dahingeschiedenen Mitgliedes zu kennzeichnen, da eine erschöpfende Darstellung seiner vielverzweigten

Arbeiten an dieser Stelle nicht ausführbar ist. Sie geben nur die Leitgedanken seiner Arbeit, lassen aber deren Reichtum und Ausdehnung nicht erkennen. Daß beide sehr groß gewesen sind, ergibt sich bereits aus der Tatsache, daß er ungezählte Schüler in die Wissenschaft einführte und ihre ersten selbständigen Schritte in der Doktorarbeit leitete; eine solche Tätigkeit ist nicht ohne eine reiche Betätigung der Schaffenskraft wissenschaftlicher Ideen denkbar.

Hiermit ist nun auch eine Seite in Wislicenus' Wesen berührt, die ihm noch mehr am Herzen lag, als seine Wissenschaft selbst: dies war seine Lehrtätigkeit. Das Eindrucksvolle, Fesselnde und Gewinnende einerseits, das Gütige und Hilfsbereite andererseits seiner Persönlichkeit hat sich wohl nirgend reizvoller betätigt, als in seinem Verkehr mit den Schülern. Nicht nur im Laboratorium, sondern auch weit darüber hinaus folgte seine Teilnahme denen, die sich seiner Führung anvertraut hatten. Fleißige Studenten durch Heranziehen zum näheren Verkehr zu belohnen, träge durch kräftige und kräftigste Mittel zur Arbeit heranzuziehen, erfolgreichen Schülern zu guten Stellungen im späteren Leben zu verhelfen, entgleiste Existenzen wieder in regelmäßigen Gang zu bringen — wer könnte alle die Arten nennen, in denen sich seine Liebe zur lernenden Jugend kundgab? Kein Wunder denn, daß die Studenten ihrerseits mit schwärmerischer Liebe und Verehrung an ihm hingen und dies bei jeder Gelegenheit betätigten. Mit seiner ungewöhnlich stattlichen Erscheinung, ein Zeuskopf auf einem hohen, breitschulterigen Körper, seiner kraftvollen Stimme, seiner gelegentlich in ernster Gefahr betätigten Unerschrockenheit war er der geborene Führer der Jugend, und er hat diesen Zauber bis in sein Alter zu üben gewußt.

Es ist natürlich, daß ein dergestalt begabter Mann auch überall, wo er sich betätigt, das Vertrauen seiner Fach- und Amtsgenossen zu erringen weiß. So hat er an allen Stätten seiner Tätigkeit sich alsbald zu führender Stellung berufen

gesehen. Aus Zürich schied er als Direktor des dortigen Polytechnikums, in Würzburg hat er außer allen regelmäßigen akademischen Ehren die ungewöhnliche Auszeichnung erfahren, zum zweiten Male zum Rektor gewählt zu werden, und zwar für das besonders schwierige Jubiläumsjahr der Universität. Ebenso hat er im Kreise unserer Universität und unserer Gesellschaft alle Stellungen bekleidet, zu denen Vertrauen und Achtung einen Mann berufen kann. So hat er auch von 1893 bis 1901 das höchste Amt in unserer Gesellschaft, das eines ersten Sekretärs, in der naturwissenschaftlich-mathematischen Klasse bekleidet und hat namentlich während der schwierigen und verantwortungsreichen Verhandlungen, welche der Gründung der Assoziation der Akademien vorausging, die Kraft seiner liebenswürdigen Persönlichkeit bewährt. In gleicher Weise hat die Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte, die Deutsche chemische Gesellschaft und der Verein deutscher Chemiker sich durch Wahl in ihre höchsten Ämter seine wohlwollende Mitwirkung zu sichern gewußt.

Das Bild seiner Persönlichkeit wäre nicht vollständig, wenn der Zug tätigen Gemeinsinnes und begeisterter Vaterlandsliebe unerwähnt bliebe, die ihn erfüllten. Beide hat er in mannigfaltigster Weise bewährt. Insbesondere verwischte die Schöpfung des Deutschen Reiches alle die Schmerzen und Kränkungen, die er und die Seinen in den früheren Perioden in Deutschland erfahren hatten; die hohe Verehrung, welche er dem Fürsten Bismarck und dem König Albert zollte, brachte er oft und gern zum begeisterten Ausdruck.

Wenden wir uns wieder zu dem Bilde des Gelehrten zurück, so werden wir noch zu fragen haben, wie er sich zu der dritten von den drei Personen verhalten hat, aus denen sich im allgemeinen der deutsche Gelehrte zusammengesetzt. Was er als Forscher und als Lehrer war, haben wir gesehen; von seiner Tätigkeit als Autor ist weniger zu berichten. Geht doch insbesondere bei dem Chemiker ein immer größerer Teil

der wissenschaftlichen Arbeit statt in unmittelbare persönliche Leistungen in die Arbeiten der Schüler über, so daß das, was unter dem Namen des Forschers der Nachwelt übergeben wird, oft nur einen kleinen Teil seiner Lebensarbeit darstellt. So ist es von vornherein nicht zu erwarten, daß neben dieser ausgedehnten Forscher- und Lehrertätigkeit sich noch eine ausgedehnte schriftstellerische Betätigung entwickeln konnte. In der Tat hat er außer den Berichten über seine zahlreichen Experimentaluntersuchungen nur noch ein Buch allgemeineren Inhaltes veröffentlicht. Es ist dies eine Neubearbeitung des von seinem Würzburger Amtsvorgänger herausgegebenen Lehrbuches der Chemie von Regnault. Und als die Auflage erschöpft war, hat er nicht die Zeit gefunden, eine weitere zu bearbeiten. Wir werden nicht irren, wenn wir die Beschäftigung mit der Feder der ganzen Anlage seiner Persönlichkeit am wenigsten entsprechend ansehen; auch waren die Klagen über die Last des Niederschreibens der inzwischen angestellten Untersuchungen in den bevorstehenden Ferien fast die einzigen Äußerungen des Unmutes, die wir von ihm hörten. —

Suchen wir nun schließlich die Summe zu ziehen, so werden wir in Wislicenus einen der begnadeten Männer erkennen, deren Wesen seinen Schwerpunkt in der unmittelbaren Wirkung der Persönlichkeit hat. Nicht die Bildung und Durchführung abstrakter Gedanken, sondern die Betätigung von Mensch zu Mensch ist auch in der Wissenschaft seine Gabe und seine Größe gewesen. Sind andere große Forscher einem Sturzbach zu vergleichen, der Felsen bewegt und Klippen durchschneidet, und der überall, wo er sich betätigt, die Erde formt und ihr die Spuren seiner Wirkung aufprägt, so gleicht er vielmehr der regenspendenden Wolke, die in tausend Tropfen über weite Strecken Segen ergießt und Fruchtbarkeit verbreitet. Scheinbar verrieselt sie; aber das grünende Feld verkündet, daß sie dagewesen ist.

ANMERKUNGEN

[1] (S. 17) Die ursprüngliche Bezeichnung hieß „kumulativ"; ich habe sie später nach einer Beratung durch meinen verehrten Kollegen Wundt durch „kolligativ" ersetzt, welches Wort eine bessere Ideenassoziation ergibt. Da in der Tat inzwischen das Wort kumulativ völlig außer Gebrauch gekommen und das neue gebräuchlich geworden ist, so habe ich es auch für angemessen gehalten, die Umwandlung hier im Text vorzunehmen.

[2] (S. 18) Es ist das „Lehrbuch der Allgemeinen Chemie" gemeint, dessen erster Halbband Ende 1883 und dessen letzter Ende 1886 ausgegeben wurde.

[3] (S. 28) Bei diesen, von mir Anfang 1888 veröffentlichten Rechnungen wurde zum ersten Male der Versuch gemacht, die Lösungsgesetze auf die Ionen anzuwenden, nachdem kurz vorher einerseits van't Hoff die Anwendung der Gasgesetze auf gelöste Stoffe gelehrt und andererseits Arrhenius die Notwendigkeit der Annahme freier Ionen in gelösten Elektrolyten gezeigt hatte. Hierdurch wurden die beiden, voneinander unabhängig entstandenen Gedankenreihen zu gegenseitiger Befruchtung gebracht, und die weitere Entwicklung namentlich der elektrolytischen Dissoziationstheorie hat wesentlich mit Hilfe der Lösungstheorie stattgefunden.

[4] (S. 29) Es ist hierbei insbesondere die kinetische Gastheorie gemeint, die zu jener Zeit nicht als das, was sie ist, als eine unbewiesene Hypothese angesehen wurde, sondern als ein unmittelbarer Ausdruck bekannter Tatsachen.

[5] (S. 30) An dieser Stelle ist, soweit mir bekannt, zum ersten Male der Begriff der „Verwandtschaft der Elemente zur Elektrizität" aufgestellt und benutzt worden. Später wurde dieser Begriff durch andere Forscher, insbesondere Abegg und Bodländer aufgenommen und zur Grundlage einer Klassifikation der Elemente und Verbindungen gemacht.

[6] (S. 30) Die hier ausgesprochene Voraussagung hat sich inzwischen, wie allgemein bekannt, in ausgiebigster Weise verwirklicht, indem gleichzeitig eine theoretische und eine praktische Elektrochemie weitesten Umfanges und größter Bedeutung seit jenen Tagen sich entwickelt hat.

[7] (S. 32) Hier ist auf S. Arrhenius angespielt, der um jene Zeit eine Assistentenstelle am Leipziger physikalisch-chemischen Institut angenommen hatte, um Arbeitsgelegenheit und Hilfsmittel zur Weiterführung seiner Entdeckungen zu haben. Auch noch mehrere Jahre später kostete es große Mühe, bei Gelegenheit einer Neubesetzung der physikalischen Professur an

der Stockholmer Hochschule seine Kandidatur gegenüber einigen Konkurrenten durchzusetzen, die bei aller Tüchtigkeit doch nicht entfernt ähnliche Leistungen aufzuweisen hatten, wie Arrhenius. Dies rührte allerdings zum Teil daher, daß einer der ersten Physiker der Zeit ein höchst absprechendes Urteil über ihn abgegeben hatte; die Gefahr eines europäischen Skandals übte schließlich einen heilsamen Zwang auf die abgeneigten Kollegen aus.

8 (S. 33) Der hier ausgesprochene Aufruf ist nur zu einem Teil von Erfolg begleitet gewesen, nämlich soweit er sich an die Staatsregierungen und die Kollegen gewendet hat. Wenn auch inzwischen bei weitem nicht alles geschehen ist, was hätte geschehen sollen – besitzt doch noch jetzt die Universität München, die zweitgrößte Deutschlands, nicht einmal einen Privatdozenten für allgemeine und physikalische Chemie –, so darf doch mit großem Danke ausgesprochen werden, daß durch die Einrichtung von Instituten und die Berufung geeigneter Männer an diese in verhältnismäßig kurzer Zeit reichliche Studien- und Arbeitsgelegenheit für die neue Wissenschaft in Deutschland beschafft worden ist. So ist denn auch bis heute der Schwerpunkt der allgemeinen Chemie in Deutschland verblieben, obwohl insbesondere in Amerika die ernsthaftesten Anstrengungen gemacht werden, ihn auf die andere Seite des atlantischen Ozeans zu verlegen. Was aber den Appell an die private Unterstützung unserer Wissenschaft anlangt, so ist er völlig ungehört verhallt und die Ehre, der erste zu sein, welcher auf diesem reiche Früchte tragenden Gebiete freiwillige Hilfe darbringt, kann in Deutschland immer noch erworben werden.

9 (S. 36) Diese Anregung ist damals ohne Folgen geblieben. Erst als 1897 eine ähnliche Anregung seitens des Kaiserlichen Gesundheitsamtes an die Deutsche Chemische Gesellschaft erlassen wurde, kam die Frage in Fluß und wurde erst durch eine engere, später durch eine internationale Kommission in solchem Sinne entschieden, daß als Grundlage $O = 16$ zu gelten habe. Durch das willkürliche Vorgehen des von der internationalen Kommission niedergesetzten engeren Ausschusses ist indessen die erzielte Einigung in unserer Zeit wieder ins Schwanken gebracht worden, doch besteht gegründete Hoffnung, daß hierin bald Wandel geschafft werden wird.

10 (S. 37) Die Unfruchtbarkeit dieses Gebietes hat sich bekanntlich bald als nur vorübergehend erwiesen, und die gelehrte Welt ist inzwischen durch ganze Gruppen neuer Elemente von der unerwartetsten und merkwürdigsten Beschaffenheit überrascht worden.

11 (S. 38) Auch diese Voraussage hat sich sehr bald bestätigt, und die durch Ramsay und Shields 1893 durchgeführten Untersuchungen über die molekulare Oberflächenenergie haben den erwarteten fundamentalen Fortschritt der Stöchiometrie der Flüssigkeiten auf Grundlage der von Eötvös erzielten Befunde ergeben.

12 (S. 47) Die hier ausgesprochenen Annahmen gehen etwas weiter, als streng genommen erforderlich ist und sind in dieser Gestalt ausgesprochen worden, weil ich damals mich noch nicht vollständig genug dem allverbreiteten

Einflusse der Atomhypothese hatte entziehen können. Tatsächlich liegt in den bisher bekannten Tatsachen der elektrolytischen Dissoziation noch nichts von der Notwendigkeit, diskrete, mit elektrischen Ladungen behaftete Teilchen anzunehmen, sondern diese Tatsachen im Verein mit den Gesetzen von Faraday erfordern nur die Konstatierung der Proportionalität zwischen durchgegangener Elektrizitätsmenge und der Stoffmenge, welche ihren Ionenzustand in irgend einem Sinne geändert hat. Demgemäß habe ich es mir später, seit der Einsicht in den Tatbestand, zum Gesetz gemacht, nicht mehr im Plural von den Ionen irgend eines Stoffes zu sprechen (außer wenn verschiedene Arten Ionen gemeint sind), sondern die Nachsilbe ion ebenso zu benutzen, wie etwa die Nachsilbe säure oder oxyd. Ich spreche mit anderen Worten nicht von Kaliumionen oder Nitrationen, sondern von Kaliumion und Nitration als Bezeichnung eines bestimmten Stoffes, ohne jede Hindeutung auf atomistische Vorstellungen.

[13] (S. 48) Hierzu ist das in der Anmerkung [3] Gesagte nachzusehen.

[14] (S. 52) Von der hier angedeuteten Entwicklung hat sich bisher nur ein Teil, allerdings wohl der wesentlichste, verwirklichen lassen. Seit einer Reihe von Jahren ist an meinem Leipziger Institut ein besonderer Unterrichtskurs für Lehrer in der Chemie eingerichtet, in welchem an Stelle der gebräuchlichen analytischen Schulung, die für den künftigen Lehrer nur an zweiter Stelle in Betracht kommt, eine Schulung in Schulversuchen verbunden mit allgemeinen Erörterungen über chemische Didaktik durchgeführt wird. Diese unter der selbständigen Leitung des Prof. Dr. Julius Wagner stehende Anstalt hat sich in jeder Beziehung gut bewährt und bereits ähnliche Bildungen an anderen Hochschulen hervorgerufen. Umgekehrt hat sich hierbei reichlich Gelegenheit gefunden, nicht nur die Möglichkeit eines elementaren Unterrichtes in der Chemie von modernen Gesichtspunkten aus nachzuweisen, sondern auch unzweideutige Belege für deren erheblich höheren didaktischen Wert gegenüber der alten, formalen und hypothesenreichen Darstellungsweise, wie sie durch die einseitige Entwicklung der organischen Chemie veranlaßt worden war, zu gewinnen. Ich betrachte diese Anstalt bereits jetzt als einen sehr wertvollen Faktor der deutschen Volksbildung und hoffe, daß auch die anderen Disziplinen, insbesondere die Physik, in ähnlicher Richtung vorgehen werden.

[15] (S. 58) In den neun Jahren, seitdem dies geschrieben worden war, hat sich eine recht befriedigende Weiterentwicklung der Zustände vollzogen. Allerdings ist an selbständigen Instituten nur noch Göttingen und Karlsruhe hinzugekommen, indem an diesen Orten Ordinariate für physikalische Chemie gegründet wurden. Doch darf man mit einigem Rechte noch die an den meisten technischen Hochschulen bestehenden Lehrstühle und Laboratorien für Elektrochemie hierzu rechnen, die während der Zeit des großen technischen Aufschwunges der Elektrochemie für dieses Gebiet gegründet, doch unvermeidlich ihren Wirkungskreis auf das ganze Gebiet der physikalischen Chemie auszudehnen Veranlassung finden. Im übrigen sind die zahlreich

entstandenen physikalisch-chemischen Institute noch als Anhängsel der vorhandenen chemischen (d. h. organisch-chemischen) Hauptinstitute entwickelt worden und ihre Leiter sind außerordentliche Professoren, die bezüglich der Mittel und der allgemeinen Verwaltung dem chemischen Ordinarius mehr oder weniger weitgehend amtlich unterstellt worden sind. Dies ist in der Tat der nächstliegende und am leichtesten durchführbare Entwicklungsgang gewesen; ebenso natürlich und unvermeidlich ist aber die künftige allmähliche Verselbständigung dieser Tochterinstitute und ihrer Leiter. Hierbei kann ich nicht umhin, mit größter Anerkennung hervorzuheben, daß mit wenigen Ausnahmen die beteiligten leitenden Fachgenossen ein lebendiges praktisches Verständnis und eine bereitwillige Förderung des neuen Zweiges an dem Baume der Chemie betätigt haben. Dies ist um so mehr hervorzuheben, als mit dieser Entwicklung gleichzeitig eine allmähliche Verlegung des wissenschaftlichen Schwerpunktes verbunden ist, durch welche die Führung in der chemischen Ausbildung der Studierenden vom Organiker langsam aber unwiderstehlich zum „allgemeinen Chemiker" hinübergleiten muß.

Hierbei ist allerdings auf eine Anomalie hinzuweisen, die dringend der baldigen Abhilfe bedarf. Während das Fach der Physik selbst an den kleineren Universitäten mit zwei Ordinarien besetzt zu sein pflegt, ist umgekehrt für die Chemie in der Regel nur ein Fachvertreter als Ordinarius vorhanden, der so gut wie immer ein Organiker ist. Bei der sehr großen Anzahl der Studierenden, welche eine eingehendere chemische Ausbildung brauchen, entstehen aber Schwierigkeiten durch die ungeheure Ausdehnung der Institute, die man dann durch die Schaffung subalterner Lehrstellen (Abteilungsvorstände u. dergl.) zu beseitigen sucht. Die reichlich vorhandenen Erfahrungen haben indessen gezeigt, daß dieser Ausweg die Qualität des Unterrichtes schädigt; der leitende Professor verliert einen unverhältnismäßig großen Teil seiner Zeit durch die äußeren Verwaltungsgeschäfte und als Abteilungsvorstände läuft er Gefahr, Personen zu behalten, die nur darum dableiben, weil sie keinen Ruf in selbständigere Stellungen erhalten. Ich sehe gegen diese sehr erheblichen Nachteile nur das eine Mittel, die Anzahl der Ordinariate und damit die der selbständigen Laboratorien zu vermehren. Da im allgemeinen sowohl die Fakultäten wie die Regierungen aus naheliegenden Gründen eine solche Maßregel, die einerseits den Einfluß und die Einnahmen des regierenden Ordinarius vermindert, andererseits auch erhöhte Verwaltungskosten bedingt, nicht ohne eintretenden Zwang ausführen werden, so bestehen allerdings nur geringe Hoffnungen, daß das vorbildliche Beispiel, das die Universität Leipzig hierin gegeben hat und dem die Universität Göttingen gefolgt ist, bald allseitige Nachahmung findet. An den technischen Hochschulen besteht eine soche Schwierigkeit nicht, da dort bereits seit langer Zeit die Chemie mindestens durch zwei Ordinarien vertreten ist.

16 (S. 68) Ich lege einen nicht geringen Wert darauf, daß ich diese Auffassung der Katalysatoren als Beschleuniger vorhandener Vorgänge im Gegensatz zu ihrer Auffassung als Hervorrufer neuer Vorgänge, die bis dahin

in Geltung war, als erster seit dem Jahre 1888 zur Geltung gebracht habe. So geringfügig diese Änderung aussieht, so wesentlich ist sie für die Möglichkeit einer wissenschaftlichen Entwicklung dieses Gebietes gewesen, denn erst sie hat exakte Fragestellungen (nach der Größe und dem Charakter dieser Beschleunigungen) ermöglicht. Den erzielten Fortschritt kann man an dem äußerlichen Umstande ermessen, daß gegenwärtig das Wort „katalytisch" unbefangen in wissenschaftlichen Abhandlungen aller Art gebraucht wird, während noch vor zehn Jahren der Chemiker sich entschuldigen zu müssen glaubte, wenn er es überhaupt anzuwenden wagte. Dies Verschwinden der Scheu vor dem Problem ist ein lebendiges Zeugnis dafür, daß wir durch die Arbeiten des letzten Jahrzehntes uns überzeugt haben, daß es der exakten Forschung ebenso zugänglich ist, wie irgend ein anderes chemisches Problem, und daß uns daher die entsprechenden Begriffe ebenso vertraut, ja vielleicht sogar besser bekannt geworden sind, wie etwa die Begriffe Valenz oder Struktur.

[17] (S. 69) Einen Zeitfaktor enthalten außerdem noch die elektrodynamischen und elektromagnetischen Erscheinungen, und die Fortpflanzungsgeschwindigkeit elektromagnetischer Störungen im leeren (d. h. von gravitierenden Massen freien) Raume oder die Lichtgeschwindigkeit ist eine Naturkonstante allgemeinsten Charakters.

[18] (S. 69) Inzwischen haben sich doch einige Fälle ergeben, in welchen Wasserstoffion keine erhebliche Beeinflussung chemischer Reaktionsgeschwindigkeiten ausübt, so daß die im Text ausgesprochene Regel einer Einschränkung bedarf.

[19] (S. 70) Die späteren Forschungen haben diese Annahme durchweg bestätigt. Die im Text angegebenen Änderungen der Enzyme bestehen einerseits darin, daß sie eine von der beeinflußten Reaktion unabhängige langsame Veränderung erleiden, die ein Ausdruck ihrer eigenen chemischen Unbeständigkeit ist, andererseits lassen sie sich als Verbindungsvorgänge mit den beeinflußten Substanzen und ihren Umwandlungsprodukten auffassen. Einen von beiden Beeinflussungen freien Fall der Enzymwirkung, der somit ganz den einfachen Gesetzen der chemischen Kinetik folgt, hat G. Senter 1903 beobachtet (Zeitschr. f. phys. Chemie 44, 257).

[20] (S. 80) Vgl. Anmerkung 16.

[21] (S. 81) Derartige Versuche sind inzwischen von Slator über die Einwirkung des Chlors auf Benzol ausgeführt worden (Zeitschr. f. phys. Chemie 45, 513) und haben sehr anschauliche Beispiele für die Möglichkeit gegeben, die Reaktion zwischen zwei gegebenen Stoffen willkürlich in einem oder dem anderen Sinne zu leiten.

[22] (S. 86) Inzwischen hat sich das alte Verfahren der Schwefelsäurefabrikation, gedrängt durch die neue Gefahr, die seinen Bestand bedrohte, so bedeutend verbessern lassen, daß vermutlich beide Methoden nebeneinander bestehen bleiben werden. Jede von ihnen wird ihr besonderes Anwendungsgebiet behalten: die alte vorzüglich dort, wo die Kammersäure unmittelbar benutzt werden kann, die neue, wo die Abwesenheit von Wasser wesentlich oder besonders vorteilhaft ist.

[23] (S. 86) Die im Text erwähnten Arbeiten, insbesondere von Brode (Zeitschr. f. phys. Chemie 37, 257) und Federlin (ebenda 41, 565) sind inzwischen veröffentlicht worden, und ihr Ergebnis ist in dem dort angegebenen Sinne ausgefallen. Seitdem haben sich noch viele andere katalytische Reaktionen in gleichem Sinne analysieren lassen, so daß die Theorie der Zwischenreaktionen in der Tat ein sehr weites Anwendungsgebiet zu haben scheint.

[24] (S. 87) Die anmerkungsweise erwähnte Möglichkeit besteht darin, daß man die verzögernde Katalyse auffaßt als in der Bindung eines vorhandenen Beschleunigers bestehend. Dann kann auf den Beschleuniger die Theorie der Zwischenreaktion angewendet werden, und seine Bindung ist ein einfaches Ergebnis der Gesetze des chemischen Gleichgewichtes. Eine vor ganz kurzer Zeit durchgeführte Untersuchung der einzigen bisher genauer studierten katalytischen Verzögerung im homogenen Mittel (Titoff, Zeitschr. f. phys. Chemie 45, 641) hat in der Tat die Durchführbarkeit dieser Auffassung ergeben. Hierdurch gewinnt das weitere Studium negativer Katalysen in homogenen Mitteln ein ganz besonderes Interesse.

[25] (S. 93) Die Betonung der thermostatischen Eigenschaften der höheren Tiere ist seitdem von verschiedenen Seiten aufgenommen worden; mir erscheint die im Text gegebene Auffassung immer noch als die wahrscheinlichste.

[26] (S. 94) Daß diese Annahme sich bereits jetzt zu verwirklichen beginnt, tritt beim Verfolgen der neuesten physiologisch-chemischen Literatur klar zutage. Ich brauche als Beispiel nur die Forschungen von S. Arrhenius über die Gesetze der Wirkung der Toxine und Antitoxine zu erinnern. Vgl. auch V. Henri et Larguier de Bancels, Journ. de Physiol. et de Pathol. générale 1904, No. 2.

[27] (S. 94) Neuere Untersuchungen führen zu dem Schlusse, daß die katalytischen Wirkungen der Blutkörperchen nicht von ihrem Gehalt an Hämoglobin, sondern von anderen Stoffen vom Charakter der gewöhnlichen Enzyme herrühren. Damit würde die im Texte gegebene spezielle Anregung gegenstandslos werden. Ich habe die Stelle stehen gelassen, weil der allgemeine Gedanke möglicherweise an einer anderen Stoffreihe ähnlichen Charakters ausführbar ist und das Problem gewiß ein großes Interesse hat.

[28] (S. 95) Vgl. Anmerkung 19, Schluß.

[29] (S. 96) Die hier gegebenen Andeutungen finden sich mehrfach durch neuere Entwicklungen bestätigt. Einerseits hat sich herausgestellt, daß die Bildung von Schwefeltrioxyd aus Dioxyd und Luft noch durch verschiedene andere Katalysatoren beschleunigt werden kann, sodann habe ich selbst die technische Anwendung der Katalyse zu fördern versucht. Die zunächst in Angriff genommenen Probleme sind die Bildung der Salpetersäure durch katalytisches Verbrennen von Ammoniak, und die Herstellung von Kopien photographischer oder sonstiger Originale unter Benutzung der katalytischen Eigenschaften des Bildstoffes und seines Trägers, die „Katatypie". In beiden Fällen hat sich die gestellte Aufgabe lösen lassen, und es steht auch die

Überwindung der technischen Schwierigkeiten bei der Anwendung im großen in naher Aussicht, soweit sie nicht bereits gelungen ist.

[30] (S. 100) Dies Bild läßt sich noch dahin erweitern, daß einem wohlbekannten Gesetz gemäß bei der Annahme der festen Gestalt nicht zunächst die dauerhafteste Form erreicht wird, sondern die nächstliegende, während die erstgenannte nur als letztes Produkt einer Reihe aufeinanderfolgender Umwandlungen erscheint.

[31] (S. 107) Die gleiche Frage habe ich ausführlicher und eingehender erörtert in den Annalen der Naturphilosophie, 2, 1 unter dem Titel: Wissenschaftliche Massenarbeit.

[32] (S. 137) Vgl. Anmerkung 12.

[33] (S. 142) Tatsächlich ist in den letzten Jahren nach langem Zuwarten fast plötzlich die erwartete Entwicklung der Gaskraftmaschine eingetreten, und an späterer Stelle (S. 341) finden sich die Verhältnisse erörtert, die durch diese Entwicklung geändert oder neu bedingt werden.

[34] (S. 143) Dies Problem ist inzwischen auf die hier gegebene Anregung hin vielfach bearbeitet worden, allerdings nur mit dem Ergebnisse, daß die zu überwindenden technischen Schwierigkeiten größer sind, als anfangs vorausgesehen war. Immerhin lasse ich die Hoffnung nicht sinken, noch selbst die erste lebensfähige Anlage solcher Art einmal in Augenschein nehmen zu dürfen.

[35] (S. 146) Vgl. die vorige Anmerkung.

[36] (S. 148) Die vielfachen neueren Forschungen über diesen Gegenstand haben erwiesen, wie außerordentlich verwickelt die Vorgänge an den Elektroden sind, und in welchem weitgehendem Maße sie von Nebenwirkungen beigemischter Stoffe und des Elektrodenmateriales abhängen. Gleichzeitig hat sich die genauere Analyse der Elektrodenwirkung als ein überaus feines Mittel gezeigt, den Mechanismus derartiger Reaktionen in seine Faktoren aufzulösen. Den maßgebenden Einfluß haben hier wie in ähnlichen Fällen die verschiedenartigen Geschwindigkeiten der nebeneinander möglichen Vorgänge.

[37] (S. 167) Vgl. W. Ostwald, Elektrochemie, ihre Geschichte und Lehre. Leipzig 1896. Ich kann bei dieser Gelegenheit die Bemerkung nicht unterdrücken, daß mich der verhältnismäßig geringe buchhändlerische Erfolg dieses Werkes (es ist nicht wie bei allen meinen anderen Büchern in einigen Jahren eine zweite Auflage nötig geworden) sehr befremdet hat. Ich bin mir bewußt, eine große Menge von allgemeinen Betrachtungen und Ergebnissen, die ich für annähernd ebenso gut und wichtig halte wie das, was ich in anderen Büchern vorgebracht habe, in jenes Werk hineingearbeitet zu haben, und ich habe auch entsprechende anerkennende Urteile von Männern erfahren, deren Urteilsfähigkeit ich sehr hoch einzuschätzen geneigt bin; den populären Erfolg meiner anderen Bücher habe ich trotzdem nicht erreichen können. Im Interesse meiner Kenntnisse der deutschen Kollektivpsyche wäre mir eine Aufklärung über die hier vorliegende Erscheinung von hohem Werte.

[38] (S. 167) Die Schrift hat den Titel: Parallele der chemischen Theorie und Voltaschen Kontakttheorie der galvanischen Kette.... nebst allgemeinen Betrachtungen über das Wesen einer physischen Kraft und ihrer Tätigkeit. Kiel 1845.

[39] (S. 173) Thermodynamische Studien von J. Willard Gibbs, deutsch von W. Ostwald. Leipzig 1892.

[40] (S. 187) Die Erscheinung der Vereinigung benachbarter Gebiete und der Untersuchung ihrer gegenseitigen Zusammenhänge ist zurzeit allgemein eingetreten und bildet das wesentlichste Kennzeichen der Wissenschaft unserer Tage.

[41] (S. 189) Der Leser wird gebeten, dieses Überbleibsel älterer, inzwischen verlassener Anschauungen im Hinblick darauf zu entschuldigen, daß die Stelle im Jahre 1887 geschrieben wurde. Als Dokument der stattgehabten Entwicklung habe ich sie unverändert stehen gelassen.

[42] (S. 190) Es ist der Aufsatz von Seite 3 dieses Werkes gemeint.

[43] (S. 192) Auch hier habe ich mich zu entschuldigen, daß ich damals mir noch nicht genügende Klarheit über die Unbestimmtheit des gebräuchlichen Ausdruckes: Unerschaffbarkeit und Unvernichtbarkeit der Materie beschafft hatte. Tatsächlich handelt es sich nur um die Erhaltung zweier Eigenschaften der Körper, die Masse und Gewicht heißen; nach allen anderen Beziehungen ist die „Materie" nicht konstant, sondern veränderlich.

[44] (S. 195) Diese Begriffsbestimmung halte ich auch noch jetzt für richtig und zweckmäßig. Absolute objektive Realität ist allerdings ein unvollziehbarer Gedanke, da es eben Absolutes, d. h. von nichts Abhängiges überall nicht gibt. Aber im Sinne der vorwiegenden Bedeutung des Wortes Realität, das wie alle philosophisch benutzten Wörter einen ziemlich schwankenden und unbestimmten Inhalt hat, wird man die im Texte angegebene Kennzeichnung als ausreichend ansehen können.

[45] (S. 196) Was hier nur angedeutet worden ist, wird vielleicht anschaulicher, wenn wir einen besonderen Fall betrachten. Bekanntlich ist die Wärmekapazität einer Verbindung gleich der Summe der Kapazitäten der Bestandteile unabhängig davon, ob ein chemischer Vorgang zwischen diesen stattgefunden hat oder nicht. Obwohl daher beispielsweise Wolfram das doppelte Verbindungsgewicht des Molybdäns hat, so kann es doch nicht als aus zwei Verbindungsgewichten Molybdän nach Art einer chemischen Verbindung (die wir nur noch nicht zu bilden und zu zersetzen vermögen) entstanden betrachtet werden, denn alsdann müßte auch die Atomwärme des Wolframs den doppelten Wert von der des Molybdäns haben, also auch einen doppelt so großen, als ihn das Gesetz von Dulong-Petit fordert. Dies widerspricht aber der Erfahrung, denn das Wolfram folgt dem genannten Gesetze. Wenn also irgend eine genetische chemische Beziehung zwischen den beiden Elementen besteht, so muß sie ganz anderen Gesetzen unterworfen sein, als die uns bisher bekannten chemischen Erscheinungen sind.

[46] (S. 198) Diese Betrachtungen sehe ich heute, obwohl sie inzwischen von einem anderen hervorragenden Fachgenossen in gleichem Sinne vorgetragen worden sind, nicht mehr als zutreffend an. Ich habe sie aus historischen Gründen stehen gelassen, um die fortschreitende Entwicklung der energetischen Anschauungen in einem modernen Kopfe zu demonstrieren, die sich aus dem Vergleich dieses Vortrages mit dem nachfolgenden ergibt.

[47] (S. 200) Auch hier habe ich auf eine Rückständigkeit meiner damaligen Ansichten hinzuweisen. Ich hatte damals noch nicht eingesehen, daß Hypothesen ohne solche „selbstverständliche", d. h. ungeprüfte Annahmen überhaupt nicht vorkommen, denn sie sind eben das charakteristische Kennzeichen der Hypothese im Gegensatze zur Protothese (vgl. meine Vorlesungen über Naturphilosophie, S. 399, Anmerkung), bei welcher mögliche oder wahrscheinliche Beziehungen zwischen aufweisbaren Größen zum Zwecke ihrer Prüfung aufgestellt werden. Somit bezieht sich die Bemerkung des Textes, daß die Beseitigung ungeprüfter Annahmen zu den nützlichsten wissenschaftlichen Taten gehört, nicht nur auf zufällige Bestandteile der Hypothesen, sondern auf diese selbst.

[48] (S. 203) Die hier ausgesprochene Auffassung hat zurzeit einen vollständigen Sieg errungen, und die bekämpfte gegnerische ist überall verlassen. Der Sieg ist so vollständig, daß es einem der neuen Generation angehörigen Gelehrten schwer fällt, sich vorzustellen, daß es eine Zeit gegeben hat, wo die Festhaltung des richtigen Standpunktes als eine Kühnheit empfunden wurde.

[49] (S. 209) Heute muß das Gesetz von der Erhaltung der Kapazitätsgrößen wieder als einigermaßen zweifelhaft bezeichnet werden. Abgesehen von der Entropie, für welche es jedenfalls nicht gilt, haben auch die neueren Untersuchungen über Strahlung bereits Ausnahmen für das Erhaltungsgesetz der Bewegungsgröße ergeben, und so macht es den Eindruck, als wäre die Erhaltung dieser Größen nur ein besonders häufiger Spezialfall, während ihre Änderung unter besonderen Bedingungen, die noch unbekannten weiteren Gesetzen unterworfen sind, allerdings eintreten kann. Wahrscheinlich wird es sich bei den Änderungen um irgend eine Kompensationsbeziehung verschiedener Kapazitäten handeln.

[50] (S. 211) Es sind hier Andeutungen zu Betrachtungen gegeben, die ich für sehr wichtig halte, so wichtig, daß von ihrer Durchführung ein großer Teil der künftigen Gestaltung der Wissenschaften abhängen wird. Was ich im Sinne habe, sind Untersuchungen über den Mannigfaltigkeitscharakter der verschiedenen, in der Wissenschaft auftretenden Größen oder Werte, mit anderen Worten Untersuchungen über die Frage, in welcher Weise und in wievielfachem Sinne sie veränderlich sind. Eine Masse hat ihr Veränderungsgebiet ausschließlich im Bereiche der positiven Werte, ebenso eine (vom absoluten Nullpunkte gezählte) Temperatur. Elektrische und magnetische Potentiale und Mengen haben entgegengesetzte Zeichen und sind dabei (mehr oder weniger exakt) symmetrisch, während Drucke gleichfalls positiv und negativ sein können, aber keine Symmetrie besitzen. So läßt

sich für jede Art Größen ihr Mannigfaltigkeitscharakter angeben, und ist dieser bekannt, so lassen sich die charakteristischen Eigentümlichkeiten ihres Verhaltens sowohl für sich, wie in ihrer Wechselwirkung mit anderen Größen voraus bestimmen. Andererseits lassen sich die verschiedenen Typen in eine systematische Tabelle ordnen, an deren Lücken die noch nicht vertretenen Typen offenbar werden.

Ich muß mich mit diesen Andeutungen hier begnügen; die ernsthafte Durchführung des Programmes wird die angestrengte Arbeit vieler Jahre kosten. Es handelt sich um ein Problem, das kein Geringerer als Leibniz während seines ganzen Lebens vor Augen gehabt hat; der unentwickelte Stand der Wissenschaften zu seiner Zeit hat ihm die Lösung unerreichbar gemacht. Es sei daher nur noch andeutungsweise bemerkt, daß voraussichtlich auch die Mannigfaltigkeit der organischen Chemie, die bisher nur vermittelst ebener oder räumlicher Strukturformeln (unvollkommen genug) hat dargestellt werden können, in der angedeuteten hypothesenfreien Weise als reines Mannigfaltigkeitsproblem wird behandelt werden können.

[51] (S. 239) Die hier angedeuteten Beziehungen habe ich seitdem in meinen verschiedenen Büchern und anderen Schriften, am übersichtlichsten in meinen „Vorlesungen über Naturphilosophie" (Leipzig 1902) zu entwickeln mich bemüht.

[52] (S. 240) Die allgemeinen Gesetze über das Geschehen sind bisher nur für solche Gebilde klar bekannt, welche im Sinne der Mechanik als zwangläufig bezeichnet werden können, d. h. deren Zustand durch eine einzige willkürliche Veränderliche vollständig bestimmt ist. Sind mehrere unabhängige Veränderliche vorhanden, oder gar unbestimmt viele, wie bei jeder wirklichen Naturerscheinung, so tritt ein neues Problem auf, das Koordinationsproblem, dessen Bearbeitung noch ganz der Zukunft angehört. Unsere allgemeinen Anschauungen über Maschinen und mechanische Gebilde im allgemeinen setzen meist das Vorhandensein der Zwangläufigkeit stillschweigend voraus, und aus der Unaufmerksamkeit auf diese Voraussetzung sind die unendlichen Streitigkeiten über die Willensfreiheit und ähnliche Fragen entstanden. Ebenso rühren die Beunruhigungen der Biologen über die „Maschinentheorie" der Lebewesen hauptsächlich daher, daß sie unter einer Maschine ein zwangläufiges Gebilde mit einer einzigen Unabhängigen verstehen. Um dieser Unzulänglichkeit abzuhelfen, werden dann neue Begriffe, wie „Dominanten" und ähnliche aufgestellt. Vgl. hierzu auch S. 304 u. ff.

[53] (S. 254) Vgl. Anmerkung 16.

[54] (S. 255) Ob es primär wirkende Verzögerer gibt, ist einigermaßen zweifelhaft geworden (vgl. Anmerkung 24). An dieser Stelle hat es indessen keinen Einfluß auf die Überlegungen, ob der Verzögerer primär oder sekundär wirkt, doch wird diese Frage bei späteren eingehenderen Erörterungen wohl im Auge zu behalten sein.

[55] (S. 257) Vgl. Anmerkung 29.

[56] (S. 267) Hier ist gegenwärtig eine Einschränkung erforderlich. Während nämlich Landolt aus seinen durch viele Jahre fortgesetzten Versuchen noch vor einigen Jahren den Schluß gezogen hatte, daß die beobachteten Abweichungen des Gewichtes vor und nach einer chemischen Reaktion in einem geschlossenen Gefäße die Wägungsfehler sicher überschreiten, hat er in neuester Zeit in Gefäßen, die innen paraffiniert waren, sowie in Gefäßen aus Quarzglas keine, die Fehler überschreitende Abweichung mehr gefunden. Allerdings handelte es sich in den letzten Fällen um eine sehr einfache Reaktion, die Auflösung eines Salzes in Wasser. Von anderer Seite ist eine Gewichtsänderung gleichfalls positiv behauptet worden. Die ganze Frage bedarf daher noch weiterer geduldiger Forschung.

[57] (S. 271) Auch diese Überlegung bedarf einiger Einschränkungen auf Grund der neuesten Fortschritte in unserer Kenntnis der radio-aktiven Stoffe. Gemäß den fundamentalen Entdeckungen von Ramsay und Soddy darf man die freiwillige Transmutation eines Elementes, des Radiums, in ein anderes, das Helium, als nachgewiesen ansehen. Daraus ist allerdings noch nicht zu folgern, daß überhaupt jedes Element sich in jedes andere wird verwandeln lassen, wohl aber scheint wieder ein Fall vorzuliegen, wo die Regel von der Erhaltung der Kapazitätsgrößen unter besonderen Bedingungen verletzt wird (Anmerkung 49), denn die Elemente sind die Kapazitätsgrößen der chemischen Energie. Eine im Lichte dieser Tatsachen entwickelte energetische Auffassung der Elemente und Verbindungen findet sich dargelegt in meiner Faraday-Vorlesung (Annalen der Naturphilosophie, Bd. 3).

[58] (S. 304) Ich habe hier insbesondere die Forschungen von Haberlandt sowie Brown und Morris über die Keimung der Getreidekörner im Auge.

[59] (S. 311) Die hier erwähnten Vorträge finden sich S. 359 und S. 160 dieser Sammlung.

[60] (S. 318) Die zu jener Zeit erst in den Anfängen ihrer Entwicklung befindlich gewesene elektrochemische Großindustrie hat sich inzwischen in umfassendster Weise ausgestaltet. Elektrolytisches Alkali und Chlor, Aluminium, Calciumkarbid, künstlicher Graphit und Karborund kennzeichnen einzelne Punkte dieser bedeutsamen Entwicklung.

[61] (S. 321) An diesen Erörterungen hängt ein Stück Geschichte. Die Einführung eines Staatsexamens für Chemiker war so gut wie beschlossen, als gelegentlich eines Frühstückes im Beginn jener Münchener Versammlung bei dem frühverstorbenen Wilhelm von Miller, an welchem sich unter anderen Victor Meyer beteiligte, die Frage in einem Kreise von Chemieprofessoren erörtert wurde. Bei der bekannten außerordentlichen Schwierigkeit, die Männer dieses Berufes zu gemeinsamer Tätigkeit zu vereinigen, hatte man auf dieser Seite die Angelegenheit, die fast ausschließlich von Angehörigen der Technik betrieben worden war, sich selbst überlassen und war einigermaßen erstaunt, als ich auf die schweren Folgen hinwies, welche durch die unvermeidliche Herabdrückung der Bedeutung der Doktordissertation gegenüber dem Staatsexamen hervorgerufen werden müßten. Die ganze wissenschaftliche Stellung

des heutigen Chemieprofessors ist auf der Mitwirkung eines großen Kreises von Schülern begründet, die zu der Ausführung der wissenschaftlichen Einzelarbeit praktisch gezwungen sind, solange die Doktordissertation im Mittelpunkt des Studiums und des Abschlußexamens steht. Sowie sie aber diese Stellung verliert, und dies ist bei der Einführung eines Staatsexamens unvermeidlich, wie das die Beispiele der Medizin und Jurisprudenz gezeigt haben, so verliert auch der Chemieprofessor jene Mitarbeiterschaft und verliert der Student den besten Teil seiner wissenschaftlichen Ausbildung, die Übung in der freien Forschung. Es gelang damals, die Herren Kollegen von der Bedeutung dieser Seite der Sache zu überzeugen. Die Folge war eine sehr lebhafte Diskussion, die sich an den im Text abgedruckten Vortrag im Schoße der elektrochemischen Gesellschaft knüpfte, deren Einzelheiten man in der „Zeitschrift für Elektrochemie", Bd. 4, S. 19 u. ff. nachlesen kann, und die sich bis in das die Versammlung abschließende Festessen fortsetzte. Die dort von A. von Baeyer gesprochenen gewichtigen Worte vollendeten das Werk. Die Frage der Einführung des chemischen Staatsexamens wurde infolge dieser Äußerungen von der maßgebenden Regierungsstelle als noch nicht spruchreif zurückgestellt, und die im unmittelbaren Anschluß an jene Münchener Verhandlungen ausgeführte Gründung des Verbandes der Laboratoriumsvorstände an deutschen Hochschulen nebst der Einführung des von diesem Verbande geregelten häuslichen „Verbandsexamens" ist das praktische Ergebnis dieser Reihe von Geschehnissen: ein Ergebnis, mit dem alle zunächst Beteiligten bis heute von Herzen zufrieden geblieben sind. Allerdings vernimmt man noch von Zeit zu Zeit Klagen solcher, welche um die Hoffnung auf einen Titel, wie „Regierungschemiker" oder „Assessor der Chemie" gebracht worden sind; doch hat sich die sachliche Unzweckmäßigkeit eines chemischen Staatsexamens inzwischen wohl so überzeugend herausgestellt, daß auch die Verbreiter jener Klagen eine mehr als platonische Wirkung von diesen kaum erhoffen.

62 (S. 328) Von Zeit zu Zeit gehen durch die Tagespresse Nachrichten, daß die Aufgabe nunmehr endgültig gelöst sei. Da inzwischen noch in keinem Falle sich die Wahrheit solcher Zeitungsnachrichten herausgestellt hat, hat man allen Grund, auch neuere ähnliche Berichte mit entsprechender Vorsicht aufzunehmen.

63 (S. 333) Inzwischen sind bedeutend höhere Ausbeuten erreicht worden.

64 (S. 339) Es ist hier auf den Anfang 1903 in Berlin erfolgten Todesfall des Dr. M. Sachs angespielt. Der beklagenswerte junge Gelehrte, der bereits von schlechter Gesundheit war, hatte sich bei Gelegenheit wissenschaftlicher Untersuchungen über die Pest mit dem betreffenden Virus infiziert und war der darauf entstehenden Pesterkrankung erlegen, während die ihn pflegenden Wärter und Schwester zwar anscheinend leichte Erkrankungen durchzumachen hatten, diese aber ohne Folgen überwanden.

65 (S. 343) Es war diesen Betrachtungen ein Vortrag von Prof. C. von Linde über die Umwandlung thermischer Energie in mechanische unmittelbar vorausgegangen.

30*

[66] (S. 345) Baur und Glaessner, Zeitschr. f. phys. Chemie 43, 354.

[67] (S. 378) Vgl. S. 160 u. ff.

[68] (S. 380) Die Einzelheiten dieser Angelegenheit findet man in meinem oben (Anmerkung 37) erwähnten Werke: Die Elektrochemie, S. 172.

[69] (S. 388) Erschienen 1896 in Berlin bei Mittler & Sohn unter dem Titel: Gesammelte Schriften von Eilhard Mitscherlich, Lebensbild, Briefwechsel und Abhandlungen, herausgegeben von A. Mitscherlich. 687 S.

[70] (S. 441) Der hier gemachte Vorschlag ist hernach während eines ganzen Jahres allseitig erörtert und dann in der nächsten Jahresversammlung der Elektrochemischen Gesellschaft in Würzburg (1902) nach eingehenden und bewegten Debatten angenommen worden. Man darf wohl behaupten, daß sich inzwischen die Zweckmäßigkeit jener Erweiterung der Ziele der Gesellschaft über alle Erwartung gut bewährt hat. Auch der Name „Bunsen-Gesellschaft" hat sich gut eingeführt; als unmittelbare Reaktion dieses Vorganges darf man die Gründung einer entsprechenden „Faraday-Society" in London ansehen, die bald hernach ausgeführt wurde.

